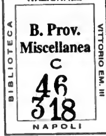
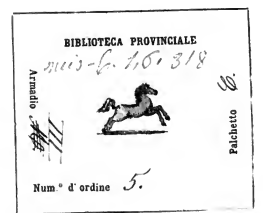

VITTORIO EM. III


FONDO PROVINCIA


NAZIONALE
BIBLIOTECA
B. Prov.
Miscellanea
C
46
318
VITTORIO EM. III
NAPOLI


BIBLIOTECA PROVINCIALE
Armadio
Palchetto
Num.° d' ordine 5.



DESCRIPTION

DU PONT SUSPENDU

CONSTRUIT SUR LA DORDOGNE,

A ARGENTAT,

DÉPARTEMENT DE LA CORREZE.

PARIS. — IMPRIMERIE ET FONDERIE DE FAIN, RUE RACINE, N°. 4.
PLACE DE L'ODÉON.

DESCRIPTION

DU PONT SUSPENDU

CONSTRUIT SUR LA DORDOGNE,

A ARGENTAT,

DÉPARTEMENT DE LA CORRÈZE,

AUX FRAIS DE M. LE COMTE ALEXIS DE NOAILLES,

MINISTRE D'ÉTAT, AIDE DE CAMP DU ROI, DÉPUTÉ DE LA CORRÈZE, etc., etc.;

SUIVIE

DE L'EXPOSÉ DES DIVERS PROCÉDÉS EMPLOYÉS POUR LA CONFECTION DES CABLES EN FIL DE FER, POUR LE LEVAGE DE CES CABLES ET DU TABLIER, ET TERMINÉE PAR UNE NOTE SUR QUELQUES PRIX DE MAIN-D'ŒUVRE;

PAR

L.-J. VICAT,

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES, ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, MEMBRE DE LA LÉGION-D'HONNEUR.



PARIS.

CARILIAN-GŒURY, LIBRAIRE

DES CORPS ROYAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

QUAI DES AUGUSTINS, N°. 41.

1830.



DESCRIPTION
DU PONT SUSPENDU
CONSTRUIT SUR LA DORDOGNE,
A ARGENTAT,
DÉPARTEMENT DE LA CORRÈZE.

AVANT-PROPOS.

Le pont qui fait le sujet de cet écrit est un exemple remarquable des heureux résultats que l'on peut attendre d'une haute influence, lorsqu'elle est dirigée par l'amour du bien public : c'est au noble emploi que M. le comte Alexis de Noailles a su faire de sa fortune, que la ville d'Argentat et une partie du département de la Corrèze vont devoir l'accroissement de leur prospérité commerciale. L'obstacle principal aux relations d'Aurillac avec Tulle et Limoges vient de disparaître, et le roulage peut enfin parcourir une ligne réclamée depuis long-temps par les besoins mutuels de ces contrées.

Qu'il me soit permis, en parlant de bienfaits publics, de témoigner ici ma gratitude personnelle à M. le comte Alexis de Noailles, pour la confiance bienveillante dont il m'a honoré en m'associant à son entreprise, et en me donnant la direction absolue d'un travail dont le succès, je dois le dire, était soumis, sous le rapport de l'art et sous celui des dépenses, à toutes les chances d'incertitude qui accompagnent les conceptions nouvelles.

Les épreuves légales faites du 21 au 25 septembre 1829 ont couronné nos communs efforts. Le pont Marie doit, à bon droit, être considéré comme offrant toutes les garanties de durée que l'on peut exiger des monumens de ce genre. Quelques dispositions nouvelles dans le

système des maçonneries et des attaches, dans l'agencement des câbles, etc., ont donné lieu à diverses observations sur la force des maçonneries récentes à petits matériaux, sur le pouvoir des frottemens, et sur les causes qui peuvent nuire à l'égale tension des brins dans un faisceau de fils de fer. Ces observations m'ont paru offrir quelque intérêt, et je me décide à les publier, à l'exemple de M. Séguin aîné, auquel on doit, sur cette matière, des documens de la plus incontestable utilité. On ne saurait recueillir trop de faits, quand il s'agit d'éclairer un art nouveau qui n'a point atteint sa perfection. Les questions que l'on peut se proposer sur les ponts suspendus sont en effet de deux sortes: les unes, qui dépendent presque exclusivement de la statique rationnelle, ont été à peu près épuisées dans le savant mémoire que M. Navier a publié sur cette matière; mais les autres, qui ont pour objet certains calculs d'équilibre étroitement liés à des notions de résistance, d'élasticité, de dilatation, de frottement, etc., ne se résolvent d'une manière complète qu'à l'aide de coefficiens donnés par l'expérience; encore les solutions ainsi obtenues ne sont-elles pas toujours certaines, parce que les conceptions mathématiques dont elles dérivent s'appuient elles-mêmes sur des hypothèses touchant la structure intime des corps, leur mode d'agrégation, de rupture, etc., et que ces hypothèses sont quelquefois très-éloignées de la vérité.

C'est ainsi, par exemple, que la connaissance de la cohésion absolue du fer fondu et de la plupart des pierres et mortiers ne suffit pas pour résoudre les questions que l'on peut se proposer sur la résistance de ces mêmes corps employés comme poutrelles, plates-bandes, linteaux, supports en encorbellement, etc., et cela parce que les formules relatives à ces divers cas sont vicieuses dans leur principe.

C'est ainsi, encore, qu'avec la connaissance certaine du poids qui écrase un cube de pierre de 25 centimètres de côté, on ne peut pas dire quel sera le poids qui écrasera une tranche d'une étendue quelconque, et de même épaisseur que le cube; et quand on connaitrait la loi qui lie les phénomènes de rupture du premier cas à ceux du second, il faudrait encore trouver celle qui conduit à la résistance du solide formé par un nombre déterminé de tranches superposées, car la destruction d'un tel solide n'aurait probablement pas lieu par l'écrasement successif des tranches les plus chargées. Il s'opérerait peut-être dans le solide entier, considéré comme d'une pièce, certaines décompositions qui exigeraient

une moindre dépense de forces que pour le cas le plus simple en apparence.

Tout cela revient à dire que, dans l'état actuel de nos connaissances, nous sommes dans l'impossibilité de calculer la résistance d'une maçonnerie par celle de ses élémens; il ne nous est pas même donné de déterminer le diamètre d'un tourillon pressé par le poids d'une roue, d'un goujon sollicité perpendiculairement à sa longueur par les chaînes d'un pont suspendu, etc. (1). Dans cet état d'ignorance, notre unique ressource est de consulter l'expérience, et de chercher dans l'histoire des constructions les exemples qui ont le plus de rapport aux cas particuliers où nous nous trouvons placés. Aussi est-ce un devoir pour tout ingénieur qui a dirigé des travaux de quelque importance, de tenir note des résultats qui peuvent aider aux progrès de l'art.

On ne se méprendra donc point sur mes intentions; loin de moi la pensée d'offrir de simples essais pour exemples; je me borne à exposer des faits, parce que des faits, quels qu'ils soient, par cela même qu'ils constituent une chose positive et consommée, indépendante de toute hypothèse, exempte de toute erreur, ne peuvent rester sans intérêt pour l'art des constructions. Parmi ces faits, je comprends les accidens, méprises, etc. Cette catégorie, à mon sens, présente un genre d'instruction non moins profitable que l'exposé des succès, et je ne me suis pas expliqué encore, je l'avoue, l'espèce de vanité qui pourrait obliger un ingénieur à manquer de bonne foi en pareille circonstance; car c'est en pareille circonstance surtout que la bonne foi devient un devoir, tant les conséquences d'une erreur maintenue ou accréditée peuvent devenir funestes.

---

(1) On trouve dans divers auteurs des formules applicables à ces divers cas; mais il ne serait pas du tout prudent de s'y fier. Le défaut commun à toutes ces formules est de donner des résistances infiniment grandes quand la puissance agit dans le plan d'encastrement lui-même, ce qui est évidemment faux. La loi de continuité et le raisonnement suffiraient seuls pour infirmer toutes ces théories que l'on attribue à Galilée, à Mariotte ou Leibnitz, si l'expérience n'en démontrait d'ailleurs l'insuffisance.

DESCRIPTION GÉNÉRALE.

Tablier.

Le tablier a 100$^{m.}$ de longueur et 4$^{m.}$ 20 de largeur en œuvre, savoir : 2$^{m.}$ 40 pour la voie roulière, et 0$^{m.}$ 90 de chaque côté pour les trottoirs. Il offre sur sa longueur une rampe et une contre-rampe égales, de 0$^{m.}$ 01 de pente par mètre. Sa charpente se compose, 1°. de cent une poutrelles transversales de 0$^{m.}$ 20 sur 0$^{m.}$ 27 d'équarrissage, et 4$^{m.}$ 90 de longueur chacune, espacées à 1$^{m.}$ 00 de milieu en milieu ; 2°. de quatre cours de liernes de 0$^{m.}$ 12 sur 0$^{m.}$ 26 d'équarrissage, posées en longrines sur champ, et dessinant et limitant à la fois sur les poutrelles la voie roulière et les trottoirs ; 3°. de deux cours de lisses d'appui, de même équarrissage que les longrines, soutenues à 1$^{m.}$ 00 au-dessus des trottoirs, par deux cent deux croix de Saint-André, et reliées aux mêmes poutrelles et aux longrines extérieures par deux cent deux boulons de 0$^{m.}$ 02 de grosseur, sur 1$^{m.}$ 75 de longueur (Pl. II, fig. 6).

L'aire des trottoirs se compose de simples planches de chêne de quatre centimètres d'épaisseur, clouées jointivement sur les longrines. L'aire de la voie roulière est formée d'une première assise de madriers de dix centimètres d'épaisseur, appareillés en liaison d'un entre autres sur chaque poutrelle, et espacés à 0$^{m.}$ 015 d'intervalle en joint ; plus d'une seconde assise de planches de peuplier noueux de quatre centimètres d'épaisseur, formant doublage, et clouées transversalement sur les madriers.

Suspension.

Le tablier est soutenu de chaque côté par cent une tiges verticales en fils de fer n°. 18, assemblés en faisceaux de quarante brins chacun. Ces tiges sont suspendues de mètre en mètre à six câbles paraboliques, qu'elles embrassent au moyen d'une ganse passant elle-même dans une croupière en fonte de fer. Elles soutiennent les extrémités des poutrelles à l'aide d'une semblable ganse enfilée dans l'œil d'un boulon, qui traverse la poutrelle et porte deux écrous, au-dessous d'un coussinet de fer fondu, faisant fonction de rondelle (Pl. II, fig. 8 et fig. 8 *bis*). Le dévirement des écrous est empêché par une chevillette de fer, implantée dans la poutrelle, par un trou ménagé dans le coussinet.

Les câbles paraboliques, au nombre de six pour chaque côté, ont tous pour corde commune 106$^{m.}$ 84, et pour flèches respectives 6$^{m.}$ 90, 7$^{m.}$ 14, 7$^{m.}$ 38, 7$^{m.}$ 62, 7$^{m.}$ 86 et 8$^{m.}$ 10; ils sont d'ailleurs disposés en écharpe ou guirlande comme au pont de Tain, c'est-à-dire qu'ils forment une surface gauche dont la génératrice horizontale, au point de départ sur les piliers, devient verticale au milieu de la courbure.

Chaque câble est composé d'un nombre de brins relatif à sa flèche, et dans l'ordre ci-après, en commençant par le câble supérieur, savoir, 216, 210, 202, 196, 190, 186; les faisceaux sont reliés de 50 en 50 centimètres par quatre-vingts tours de fil n°. 8, recuit.

Retenues et points d'attache.

Les câbles paraboliques, après avoir passé sur le sommet des piliers, descendent à 45° vers les points d'attache (Pl. II, fig. 6), qu'ils rencontrent à 1$^{m.}$ 50 au-dessus du terre-plein des entrées. Là ces câbles sont réunis par des boucles et des goujons en fer forgé (Pl. III, fig. 9 et 9 *bis*) aux extrémités de six grands chaînons également en fer forgé, lesquels continuent à se diriger sous 45°, jusqu'à 2$^{m.}$ 60 des points d'attache, après quoi ils s'infléchissent suivant un arc de cercle de 2$^{m.}$ 41 de rayon, et descendent verticalement ensuite, jusqu'à la rencontre d'autres chaînons, qui vont immédiatement saisir des corbeaux ou ancres de fer fondu, engagés dans une maçonnerie.

Culées, piliers et maçonneries de retenue.

Les piliers ont la forme de troncs de pyramides à bases rectangulaires, terminées vers le fleuve et en dehors par des plans en talus, et vers les points d'attache et la voie du pont par des plans verticaux (Pl. I, fig. 3 et 4). Les bases inférieures ont en fondation 8$^{m.}$ 00 de longueur chacune dans le sens du tirage, et 3$^{m.}$ 00 de largeur; les plates-formes supérieures ont 2$^{m.}$20 dans les deux sens; la hauteur totale desdits piliers, au-dessus de l'étiage, est de 23$^{m.}$ 78, savoir : 14$^{m.}$ 82 de l'étiage au-dessus du tablier vers les entrées, et 8$^{m.}$ 96 du tablier aux points de suspension. Sur chaque rive les supports ou piliers sont espacés à 4$^{m.}$ 20 l'un de l'autre en œuvre; ils sont réunis et rendus dépendans par deux voûtes en plein cintre, dont l'une, extradossée au niveau du tablier, soutient le

palier d'entrée, et l'autre, extradossée au niveau des points de suspension, donne à cette entrée la forme d'une porte antique.

Les retenues sont prises dans un massif de maçonnerie, de 10m. 00 de longueur sur 2m. 50 d'épaisseur, et de 9 à 10m. 00 de hauteur, établi à 8m. 00 en arrière des supports contre lesquels il est arc-bouté par deux voûtes de 8m. 00 d'ouverture chacune, extradossées au niveau du sol des entrées.

On remarquera, au-dessus et au-dessous des voûtes de retenue, des arcs renversés et des contre-forts peu en harmonie avec l'ensemble des autres maçonneries; leur disposition annonce qu'ils ont été conçus et exécutés après coup. Ces ouvrages supplémentaires n'ont cependant été commandés par aucun accident; il faut les considérer comme une mesure de prudence, motivée sur le peu de progrès des mortiers, à l'époque fixée pour l'épreuve; il est extrêmement probable qu'ils seront inutiles dans un an ou dix-huit mois.

Toutes les maçonneries sont construites en schiste d'une dureté moyenne, lié avec mortier à chaux moyennement hydraulique et sable de rivière. Les voûtes elles-mêmes et les angles des massifs n'offrent aucune pierre de taille. Les seuls points où l'on ait cru devoir en employer sont ceux où les grands chaînons s'infléchissent pour passer de la direction verticale à l'inclinaison de 45°.

Travail de la suspension.

Le tablier, y compris les tiges de la suspension et la portion parabolique des grands câbles, pèse, tout ferré, ci. . . .	106,864 kilog.
La charge d'épreuve, à raison de 200 kil. par mètre carré, s'est élevée à.	84,000
Poids total au moment de l'épreuve. .	190,864 kilog.

On a adopté en nombre rond 195,000 kilogrammes pour les calculs de la suspension, à cause de la peinture et du goudronnage des charpentes, et de la sur-épaisseur des madriers, planches, etc.

Au moment de l'épreuve, chaque fil n°. 18 des câbles paraboliques portait 160kil. 70 ou 21kil. 80 par millimètre de section; c'était un peu moins du $\frac{1}{3}$ de la force absolue, fixée à 500 kilogrammes par brin; dans l'état permanent, chaque fil est tendu à 85kil. 50, ou 11kil. 60 par millimètre carré, c'est un peu plus du $\frac{1}{6}$ de la force absolue.

Les grands chainons d'attache ont supporté, au moment de l'épreuve, 11^kil.^ 61 par millimètre carré, c'est un peu plus du $\frac{1}{4}$ de la force absolue du fer forgé; ils supportent maintenant 5^kil.^ 83, environ le $\frac{1}{7}$ de la force absolue.

Les boucles qui réunissent les câbles paraboliques entre eux, et ces mêmes câbles aux chainons, ont supporté au moment de l'épreuve 9^kil.^ 60 par millimètre carré; elles supportent actuellement 5^kil.^ 25.

La tension totale des câbles paraboliques était, au moment de l'épreuve, de 385,858 kilogrammes; dans l'état permanent, elle est réduite à 210,000 kilogrammes.

Les chainons, grands et petits, ont été essayés à l'aide d'une machine à deux leviers, construite sur le même principe que celle dont on a fait usage au pont des Invalides, mais essentiellement modifiée dans ses dispositions; et ce par un simple motif d'économie (Pl. V, fig. 19). Dans ces essais, le fer travaillait à 16 ^kil.^ par millimètre carré; chaque pièce portait la charge pendant un quart d'heure.

Description particulière des points de suspension et de quelques parties des maçonneries.

Au sommet des piliers la maçonnerie est exécutée avec du moellon (schiste) de choix; chaque massif est traversé à angles droits par quatre tirans de fer carré de 3 centimètres, bandés convenablement à une température moyenne avec de bonnes clefs. Rien n'a été négligé pour donner à cette partie des piliers toute la force que comporte une maçonnerie de moellons. Sur le milieu de la plate-forme de chaque sommet est assis, à bain de mortier ordinaire, un dé de granit dur, de 1^m.^ 50 de long sur 1^m.^ 20 de large et 0^m.^ 50 de hauteur réduite. Le dessus de chaque dé offre un plan incliné, dirigé perpendiculairement à la résultante des tensions des câbles, supposées égales en deçà et au delà des points d'appui. Sur ce plan incliné, on a pratiqué un refouillement de 5 centimètres de profondeur sur 74 centimètres de largeur et 1^m.^ 20 de longueur en travers. L'objet de ce refouillement est de recevoir la base d'une pièce cintrée, en fonte de fer, sur laquelle repose immédiatement le système d'appui des câbles paraboliques.

Chaque pièce a pour section, dans le sens du tirage, un segment de cercle de 50 centimètres de rayon, et de 70 centimètres de corde (Pl. III, fig. 11 et 11 *bis*), lequel segment est renforcé vers sa base par une sur-

épaisseur de 2 centimètres. La section, perpendiculairement au tirage, offre la coupe supérieure d'un bât de 82 centimètres de longueur hors œuvre, de 26 centimètres de hauteur totale, et de 10 centimètres de profondeur, avec bords de 52 millimètres d'épaisseur. En un mot, la pièce dont il s'agit imite tellement la forme d'un bât ordinaire dont la le dessous serait plein, que, par cette raison, nous l'avons nommée *bât de suspension.*

Six lames de fer méplat, de 11 centimètres de largeur et de o$^{m.}$ 01 d'épaisseur, convenablement cintrées, sont fixées jointivement, à l'aide de rivures, sur la partie cylindrique de chaque bât. Sur ces lames peuvent rouler (Pl. III, fig. 12) de petits cylindres de fonte de fer, de 5 centimètres de grosseur, espacés à o$^{m.}$ 0053 d'axe en axe, parallèlement entre eux, et maintenus dans leurs positions respectives par des lames de fer méplat, de 5 millimètres d'épaisseur, courbées sur champ, et percées pour recevoir librement les petits tourillons de chaque cylindre.

Enfin des matelas de fer, composés de portions de lames cintrées, réunies et articulées par d'autres lames flexibles de fer feuillart, s'appuient sur les cylindres ou rouleaux, et peuvent parcourir environ 10 centimètres en avant et autant en arrière, sans sortir de la courbure déterminée.

C'est sur ces matelas isolés et indépendans, que sont infléchis les câbles paraboliques : il est évident que ces câbles peuvent ainsi éprouver, aux points de suspension, des déplacemens suffisamment étendus, sans exercer autre chose qu'une pression sur les bâts, et conséquemment sur les piliers. En un mot, le système qu'on vient de décrire remplace la poulie pour des mouvemens limités, et n'exerce sensiblement aucun frottement.

Immédiatement au-dessus des corbeaux de fonte qui forment les points de retenue, la maçonnerie est exécutée avec moellons de choix, de grand échantillon, et disposée de manière à former cul-de-lampe. Cette disposition s'explique d'elle-même.

Un peu au-dessus du point où commence l'inflexion des chainons d'attache, on a construit en granit tendre une voûte en portion de cercle destinée à servir de matelas aux chaînons. La pression normale exercée sur l'extrados de cette voûte est renvoyée, d'une part, aux piliers, par une plate-bande en granit de même espèce que le précédent; et de

l'autre, contre le sol, de haut en bas, par l'intermède de la maçonnerie des massifs de retenue. Telle a été, du moins, l'intention qui a présidé à ces dispositions.

Travail des maçonneries.

Chaque câble est infléchi sur un système de quatorze rouleaux, dont douze en fonte de fer et deux en fer forgé, intercalés vers le milieu de l'inflexion. Sur ces quatorze rouleaux, neuf seulement sont pressés. Ceux-là portaient, chacun au moment de l'épreuve, 3,611 kilogrammes; ils portent actuellement 1,965 kilogrammes: plusieurs d'entre eux avaient été essayés préalablement à 15,000 kilogrammes de charge.

La base d'un bât comprenant 5,740 centimètres carrés, et la pression totale sur chaque bât étant au moment de l'épreuve de 195,000 kilogrammes, chaque centimètre superficiel portait alors 34 kilogrammes. Dans l'état permanent, la pression totale est réduite à 106,000 kilogrammes, ce qui donne par centimètre $18^{kil.}$ 40. Les bâts sont assis sur bain de mortier composé d'une partie de chaux moyennement hydraulique en pâte, mêlée avec 1,33 de sable, et 0,67 de pouzzolane artificielle. Ce ciment avait moins de quatre mois d'âge au moment de l'épreuve.

La base inférieure d'un dé de granit comprenant 18,000 centimètres carrés, et la pression totale sur cette base étant, au moment de l'épreuve (y compris le poids du bât et le propre poids du dé), de 197,470 kilogrammes, chaque centimètre superficiel portait alors 11 kilogrammes. Maintenant la pression totale est réduite à 108,470 kilogrammes, ce qui donne par centimètre 6 kilogrammes. Chaque dé est assis sur bain de mortier de deux à trois centimètres d'épaisseur, sans cales quelconques. Le mortier a été fiché; il contient 100 de chaux moyennement hydraulique en pâte et 200 de sable de rivière. Il avait quatre mois et huit jours d'âge au moment de l'épreuve.

La forme pyramidale des piliers les rendait, à l'instant de l'épreuve, à très-peu près solides d'égale résistance, en tant que soumis à des pressions verticales; car en ajoutant à la charge due à la suspension le propre poids de la maçonnerie, on trouve que sur une section horizontale prise à trois mètres en contre-bas des points de suspension, chaque centimètre superficiel a porté $4^{kil.}$ 50; et cela pendant qu'à la base des piliers chaque centimètre portait au même instant $4^{kil.}$ 20. Dans l'état permanent cet ordre a changé : la pression à la base est de $3^{kil.}$ 78 et dans le haut de $2^{kil.}$ 92.

2

Les maçonneries les plus récentes avaient au moment de l'épreuve quatorze mois d'âge près des fondations, et cinq mois seulement au sommet des piliers, sur environ 1 mètre 20 de hauteur. A cette époque le mortier de l'intérieur, quoiqu'ayant fait bonne prise, n'offrait point encore ce qu'on appelle de la dureté, c'est-à-dire que le simple effort des doigts aurait suffi pour en écraser un fragment de la grosseur d'une noix.

Dans les piliers de la rive gauche, fondés le 7 juillet 1828, et terminés (à 1 mètre 20 centimètres de hauteur près) le 15 novembre de la même année, les assises inférieures portaient ce jour-là $3^{kil.}$,04 par centimètre superficiel, et cependant on enfonçait sans de grandes difficultés une lame de couteau dans les joints. Le mortier avait quatre mois et huit jours d'âge.

Sous les retenues, et avant la suspension, la maçonnerie portait $4^{kil.}$ 69 par centimètre carré; elle avait un an d'âge.

Si l'on admet que les tensions des grands chaînons d'attache sont égales en-deçà et au-delà de l'inflexion de ces mêmes chaînons, sur la voûte de granit, on trouve, pour la pression normale totale sur l'extrados de cette voûte, 151,000 kilogrammes au moment de l'épreuve, et 82,000 kilogrammes dans l'état permanent.

Si, à raison de frottemens dont la valeur est impossible à assigner exactement, la résultante des deux tensions devenues inégales s'approchait de l'horizontale, cette résultante aurait pour valeur 136,000 kilogrammes au moment de l'épreuve, et sa pression sur la moindre section verticale de la maçonnerie arc-boutante aurait été de $2^{kil.}$ 49 par centimètre superficiel. Mais ces décompositions de force sont trop douteuses pour qu'il soit possible d'en tirer aucune conclusion certaine.

Les parties courbes des chaînons d'attache ne s'appuient pas immédiatement sur le granit; chaque double branche est calée très-exactement sur quatorze plaques de fer carrées de 42 centimètres superficiels chacune, et également distribuées; la pression normale, sous chaque double branche, était, au moment de l'épreuve, de 25,166 kilogrammes (1). Conséquemment, chaque cale portait alors, à très-peu près, 1,800 kilogrammes. Ainsi, sous chaque plaque, la pression était

---

(1) Toujours dans l'hypothèse d'une égale tension en dessus et en dessous de l'inflexion des chaînons.



de 45 kilogrammes, en nombre rond, par centimètre superficiel. Actuellement cette pression est réduite à 23$^{kil.}$ 20.

Le granit qui forme la voûte, étant de très-médiocre qualité, a subi préalablement un essai dont voici le résultat : un cube de 15 centimètres de côté, assis de niveau sur un madrier, et chargé de 4,408 kilogrammes, la charge reposant sur le cube par l'intermédiaire d'une plaque de fer carrée de 42 centimètres superficiels, n'a donné aucun signe d'altération. Or, dans cette épreuve, chaque centimètre carré de la plaque portait 102 kilogrammes, et chaque centimètre carré de la base inférieure du cube de granit 19 $^{kil.}$ 50.

Épreuve du pont.

Le tablier présentant une superficie de 420 mètres, a été chargé conformément aux clauses de l'adjudication, et à raison de 200 kilogrammes par mètre carré, d'un poids total de 84,000 kilogrammes. Les matériaux, sable et cailloux, ont été uniformément distribués entre les trottoirs en trois couches ; savoir :

Première couche, faisant environ le quart de la charge ;

Deuxième couche, faisant avec la première environ la demi-charge ;

Troisième et dernière couche, formant le complément de la charge.

L'abaissement du tablier, pris au milieu de sa longueur avec un niveau à bulle et à lunette, s'est trouvé sous le quart de la charge de 42 millimètres, sous la moitié de 85 et sous la charge entière de 185 millimètres. Pendant les trois jours d'épreuve on n'a remarqué que des mouvemens thermométriques ; le plus grand abaissement a eu lieu le second jour vers deux heures de l'après-midi par un vent du sud : le niveau marquait alors 216 millimètres. Le troisième jour, à six heures du matin, la cote n'était plus que de 193 millimètres. A deux heures après midi, le même jour, elle s'élevait à 195 millimètres.

Immédiatement après l'enlèvement de la charge, le tablier est revenu à 57 millimètres de sa position primitive ; mais alors il pleuvait beaucoup, et le plancher était encore très-sale. Le lendemain, à six heures du matin, après le balayage, la différence n'était plus que de 33 millimètres.

Pour discuter rigoureusement ces données, il faudrait les réduire à la même température ; mais on manquait de thermomètre pendant l'épreuve ; ainsi les compensations ne sauraient être calculées.

Si l'on regarde comme bonne la dernière différence de 33 millimètres,

observée entre la hauteur initiale du tablier et sa hauteur après l'épreuve, qu'on adopte pour abaissement total, 191$^{mil.}$ 60, valeur de l'abaissement moyen, on trouvera, déduction faite des 33 millimètres, qui n'ont aucun rapport avec l'élasticité des fils de fer, que, sous 84,000 kilogrammes, le milieu du tablier est descendu à 157$^{mil.}$ 60.

Or, la surcharge de 84,000 kilogrammes a dû produire un excès de tension de 175,858 kilogrammes sur les câbles paraboliques, ce qui donne par brin, 73$^{kil.}$ 44, et par millimètre de section, 10 kilogrammes; mais pour 10 kilogrammes, chaque mètre courant a dû s'allonger (*Voyez* ci-après, pag. 22.) de 0$^{mil.}$ 578, et l'allongement moyen des six câbles aurait conséquemment été de $0{,}578 \times 108{,}25 = 62^{mil.}\ 568$. La longueur de la portion de parabole comprise entre les points de suspension, est généralement exprimée par (Navier, *Traité des ponts suspendus*, pag. 73), $L = 2h + \frac{4f^2}{3h}$; h, étant la demi-corde et f la flèche de courbure, on en tire $f = \pm \sqrt{3Lh - 6h^2}$. Mettant pour h 53$^{m.}$ 42, et pour L, successivement 108$^{m.}$ 25 et 108$^{m.}$ 312, on trouve $f = 7^{m.}\ 516$ et $f = 7^{m.}\ 679$. Différence, 163 millimètres. L'expérience a donné 157$^{mil.}$ 60, résultat qui ne diffère que de 5$^{mil.}$ 40 du précédent. La formule de M. Navier est donc parfaitement justifiée, ainsi que le coefficient, 0$^{mil.}$ 0578 que nous avons assigné pour l'allongement du fil n°. 18, sous un kilogramme de charge, par millimètre de section.

Les maçonneries n'ont manifesté aucun mouvement pendant l'épreuve, les bulles des niveaux appliqués contre les piliers sont restées immobiles autant que le travail continuel du bois des règles qui les portaient a pu le permettre. Du reste, il ne s'est pas détaché un seul grain de sable des enduits ni des voûtes, ce qui annonce une immobilité complète.

Une chose importante à constater était le mouvement d'extension des chaînons d'attache et de retenue. Ces chaînons portant au moment de l'épreuve 11$^{kil.}$ 61 par millimètre carré, et leur longueur ensemble étant de 11$^{m.}$ 70 à *zéro* de tension, ils auraient dû s'allonger de $11{,}7 \times 11{,}61 \times 0{,}05$ (0$^{mil.}$ 05 étant le coefficient donné par M. Duleau, pour l'allongement du fer en barre), ou de 6$^{mil.}$ 78. Cependant ils n'ont pas bougé, ou du moins, la très-légère fissure qui s'est faite dans le mortier au point où les chaînons sortent du massif, n'a pu être mesurée avec le double décimètre ordinaire.

Je ferai remarquer, à ce sujet, que la maçonnerie traversée par les chaînons verticaux, avait à peu près un an d'âge le jour de l'épreuve; que les barres de ces chaînons, n'étant point très-exactement calibrées, se renflaient en certains points et étaient étranglées dans d'autres; que ces défauts, quoique peu sensibles, n'en constituent pas moins des points d'arrêt sur lesquels la maçonnerie a prise. Quant aux chaînons courbes, le massif qui les enveloppe n'avait guère que quatre mois et demi d'âge le jour de l'épreuve; mais, en s'infléchissant, ces chaînons exercent sur la voûte de granit qui leur sert d'appui, ou plutôt sur les cales en fer placées entre leurs branches et cette voûte, une pression normale que j'ai évaluée à 151,000 kilogrammes, pression qui a dû déterminer un énorme frottement. Telles sont les causes qui, très-probablement, se sont opposées à l'extension des chaînons; et puisque cette extension s'est trouvée à peu près nulle, on serait, ce me semble, en droit d'en conclure que le tirage a été à peine transmis aux corbeaux de fonte qui servent d'ancres. Je laisse, du reste, ce point à décider : toujours est-il que le fait exposé est très-remarquable, et peut jeter un grand jour sur la puissance des frottemens et des autres obstacles qui agissent sur les barres de fer enveloppées dans une bonne maçonnerie.

Le seul accident résultant de l'épreuve a été la rupture de quelques-unes des croupières du milieu des câbles paraboliques. Cette rupture est évidemment due à ce que les croupières n'embrassaient pas assez exactement leurs goujons; il eût été facile de prévenir tout mouvement en étrésillonant les bouts des branches avec de petits barreaux de fer. Au surplus, la seule conséquence de cette rupture c'est que le matelas de fonte interposé entre la ganse du câble et le goujon se compose maintenant de deux pièces au lieu d'une. Il est inutile d'ajouter que si on voulait imiter ce système d'attache, et se mettre à l'abri de tout événement, il faudrait tenir les croupières plus fortes en épaisseur au milieu de leur partie ciutrée.

EXÉCUTION DES OUVRAGES.

Fabrication des câbles.

Le fil de fer généralement employé est le n°. 18; il a été fourni par MM. Séguin. Ce fil est arrivé par paquets annulaires emballés dans des tonnes. A mesure que ces tonnes entraient au magasin, on les défonçait

d'un seul côté pour en sortir les paquets, qu'on déliait successivement pour les plonger pendant quelques minutes dans un bain d'huile de lin bouillante, et oxigénée par la litbarge, le tout conformément aux instructions de M. Séguin. Cette opération ne peut se faire qu'en plein air, encore est-elle dangereuse ; il est presque impossible que les ouvriers employés ne soient point atteints plus ou moins de la colique dite des peintres. Ils doivent se tenir sur le vent de la chaudière, et boire beaucoup de lait pendant la durée du travail.

Chaque paquet était, au sortir de l'huile, suspendu à un bâton et égoutté par secousses sur la chaudière même, puis accroché à une haie artificielle pour y prendre le degré de dessiccation convenable. Quoique bien égouttés, les paquets abandonnent encore de l'huile qui se rassemble dans le bas des anneaux et produit un mauvais effet si l'on n'a soin de l'enlever avec une brosse. L'emploi de l'essence devient quelquefois indispensable. Par un beau temps, deux ou trois jours suffisaient à la dessiccation de l'huile grasse. On enlevait alors les paquets qu'on replaçait dans les tonnes, et on continuait ainsi de suite.

Les défauts apparens du fil de fer deviennent difficiles à apercevoir quand le vernis est posé ; il importe donc de procéder à l'examen des paquets quand le fer est nu, et c'est aussi par cet examen qu'on a commencé.

On a donné à chaque grand câble 64 mètres de longueur, afin que la totalité de chaque courbe, y compris les parties à 45° situées en-deçà des piliers, pût se composer de deux longueurs seulement. Le faisceau a été formé en ligne droite et tendu horizontalement au moyen de petites potences semblables à celles des corderies. Les révolutions étaient appliquées et contenues par rangs parallèles, dans les gorges de deux croupières de fer fondu, avec la précaution, indiquée par M. Séguin, de séparer les rangs par des lames de tôle, pour qu'aucun fil ne pût forcer entre deux autres et s'y loger.

Chaque brin a été tendu à 50 kilogrammes pendant la formation des faisceaux, et par un procédé qui a rendu cette tension tout-à-fait indépendante de la force et de la volonté des ouvriers : quand un brin arrivait à l'extrémité de la ligne il était saisi par un frein de fer (Pl. IV, fig. 17) ; ce frein était lui-même tiré par une corde passant sur une poulie de renvoi, dont la chape pendait à l'extrémité d'une volée (Pl. IV, fig. 15 et 15 *bis*). Cette volée était assemblée à un arbre vertical, et, par une

demi-révolution, elle enroulait le brin dans la gorge de la croupière en le maintenant dans une tension constante, réglée par un poids de 50 kilogrammes suspendu à la corde du frein. Le frein ne cessait de tenir le brin, que lorsque le bout de ce même brin, parvenu à l'autre extrémité de la ligne, était saisi par le frein du second mécanisme; et ainsi de suite jusqu'à la dernière révolution.

Les croupières étaient posées horizontalement sur leur plat et accrochées à de forts goujons, assujettis eux-mêmes à un système de charpente (Pl. IV, fig. 15, 15 *bis* et 15 *ter*) qui permettait, à l'aide de fortes vis, de lâcher ou de rappeler les goujons selon le besoin. Cette mesure était indispensable, car 200 brins, tendus à 50 kilogrammes, produisaient un tirage de 10,000 kilogrammes; cet effort agissant sur les assemblages des charpentes et même sur le terrain, entraînait tout le système: il fallait donc pouvoir de temps en temps rappeler les croupières, sans quoi la distance de 64 mètres n'eût pas été maintenue et les derniers brins eussent été bien plus tendus que les premiers. Des repères fixes avertissaient des moindres mouvemens.

Il est facile de concevoir que le même appareil aurait permis de tendre les fils à 100 et même à 150 kilogrammes; mais dans ce cas les arrêts n'eussent peut-être pas tenu coup, il eût fallu les fortifier et substituer aux vis de rappel des vis plus puissantes et à filets carrés.

Les paquets de fil de fer étaient réunis d'avance par quatre, cinq ou six selon leur force, sur un dévidoir, et ainsi livrés à ceux qui formaient les faisceaux. Cette précaution permettait de passer cinq, six ou sept révolutions sans s'interrompre pour lier les bouts.

Ces bouts étaient réunis par juxta-position, et ainsi serrés sur une longueur de 10 centimètres, par les révolutions successives d'un fil de fer n°. 1 ou 2, recuit. Pour faciliter cette opération on avait rendu portatifs de petits systèmes de charpente fort légers, consistant principalement en deux poteaux, maintenus verticalement à distance et armés chacun d'un frein à clavettes. Les deux bouts à joindre étaient tendus l'un contre l'autre par ces freins (Pl. IV, fig. 16 et 16 *bis*), pendant que l'ouvrier enroulait le fil de la ligature.

Quand le nombre des révolutions voulues pour la confection d'un grand câble était complet, on lâchait les croupières pour détendre le faisceau, et permettre aux brins de s'éparpiller, et ce afin de pouvoir les passer en couleur. Immédiatement après on tendait le faisceau pour le

lier fortement de 50 en 50 centimètres avec du fil n° 8 recuit, en rapprochant les brins à l'aide d'étaux en bois (Pl. V, fig. 18). Cette dernière opération finie, le câble était enlevé et déposé sur une aire de madriers, où on le maintenait, autant que possible, dans une situation rectiligne.

Les faisceaux verticaux de suspension ont été formés de la même manière, à cette différence près, qu'étant de différentes longueurs et pour la plupart fort courts, il n'était pas possible de leur appliquer l'appareil d'égale tension employé pour les câbles paraboliques; les brins ont donc été tendus *au juger*. Mais les inégalités de tension qui en résultent nécessairement sont comprises entre des limites peu étendues. L'excès de force de ces faisceaux rend d'ailleurs les conséquences de ces inégalités peu dangereuses. Il est bon d'observer cependant qu'aucun fil ne paraissait lâche, et que l'œil ne pouvait reconnaître aucun défaut, signe certain d'une approximation suffisante vers la régularité cherchée.

Pour tendre chaque faisceau, on accrochait les croupières extrêmes à deux becs de fer, fixés eux-mêmes à deux colliers de bois, qui pouvaient courir à volonté sur une poutre de chêne, de la même manière que les porte-pointes d'un trousse-quin courent le long de leur tige. On a pu ainsi, sans changer d'appareil, se donner toutes les longueurs possibles, et la résistance de la poutre maintenait de reste l'écartement des croupières.

Il est bon d'ajouter qu'à chaque révolution d'un brin, ce brin était assujetti à passer dans l'œil du boulon destiné à traverser la poutrelle du tablier. Cette condition eût été une grande cause de temps perdu et de difficultés, s'il eût fallu dévider chaque paquet de fil de fer, et faire pour chaque révolution l'immense circuit exigé pour éviter les faux plis et l'embrouillement des brins. Au lieu de procéder ainsi, on prenait le fil d'un paquet par un de ses bouts, et pendant qu'un ouvrier déroulait le paquet entre ses mains, un autre faisait au dehors des croupières, mais en enfilant chaque fois l'œil du boulon, toutes les révolutions nécessaires pour épuiser le paquet; chaque révolution ainsi préparée était lâche et séparée de la révolution précédente (pour éviter la confusion) par les dents d'un peigne composé de simples pointes de Paris, enfoncées sur le bois des colliers, derrière les croupières. Il ne s'agissait plus ensuite que de prendre une à une, en commençant par la première, les révolutions ainsi arrangées, et de les loger dans les croupières en les tendant conve-

nablement. On opérait sur le second paquet de fil de fer, comme sur le premier, après quoi on en liait les bouts; et ainsi de suite.

Tels sont les procédés qu'on a employés pour former les faisceaux des câbles du pont d'Argentat. Il me reste à dire maintenant avec franchise en quoi ces procédés sont défectueux, et à indiquer les améliorations dont je les crois suceptibles; mais il me parait utile, auparavant, de signaler les défauts du fil de fer.

Les défauts apparens du fil de fer sont de trois sortes : 1°. les cassures partielles qui tranchent un fil au $\frac{1}{8}$, au $\frac{1}{6}$, ou au $\frac{1}{4}$, etc., de son diamètre, véritables criques analogues à celles du fer en barre; 2°. les pailles ou barbes qui commencent en pointes déliées et s'étendent en se renforçant; 3°. les filandrures qui divisent le brin longitudinalement en deux ou trois filets.

Les défauts cachés sont de deux sortes : 1°. les soufflures qui occupent une certaine étendue de la section; 2°. les parties que j'appelle trempées, à cause de leur extrême fragilité.

Ces divers accidens peuvent ôter à un brin le $\frac{1}{3}$, le $\frac{1}{4}$, et quelquefois les $\frac{9}{10}$ de sa force. Il est difficile que les défauts apparens échappent à l'investigation scrupuleuse de chaque paquet examiné brin à brin; cependant il en passe toujours quelques-uns. Quant aux défauts intérieurs ils restent tous inaperçus, à moins qu'un heureux hasard ne les mette en évidence dans le maniement des paquets : c'est ainsi qu'en dévidant ces paquets et par la simple rectification de la courbure, les brins cassent quelquefois net comme le verre. Cet avertissement est un indice qu'il ne faut pas négliger : on doit alors infléchir les bouts du brin cassé avec une forte pince à bec, jusqu'à une certaine distance de la cassure, pour reconnaitre l'endroit où finit la trempe; car il est impossible qu'elle soit limitée à un seul point.

Il résulte de cet exposé que, dans l'étendue d'un câble, tous les fils n'offrent point une égale résistance : si donc un tel câble était soumis à une tension capable de le rompre, et que les fils fussent indépendans les uns des autres, ils se rompraient chacun au point de sa résistance *minima*; donc la résistance totale d'un faisceau se composerait de la somme des résistances *minima* de ses fils; ce qui serait un cas très-défavorable.

Si au contraire les fils étaient rendus dépendans les uns des autres par de fortes ligatures, alors, le fort protégeant le faible, la rupture aurait lieu en un point unique, là où la rencontre fortuite de tous les points faibles serait chose impossible.

Ainsi, les ligatures des faisceaux n'ont pas seulement pour objet de contenir l'éparpillement des brins, et de les défendre les uns par les autres de tout accident; mais leur fonction essentielle est de donner au faisceau une force qu'il n'aurait certainement point, si les brins étaient indépendans.

Remarquons maintenant que la dépendance des brins assimile un faisceau à une barre de fer: et de même qu'on ne peut infléchir une barre de fer au-delà du terme permis par son élasticité, sans allonger ou rompre certaines fibres et en refouler d'autres; de même aussi, on ne peut infléchir un faisceau bien lié, et dont les brins sont d'ailleurs collés ensemble par un vernis, sans rompre ou allonger à outrance les fils qui occupent la convexité du faisceau, et sans refouler sur-eux-mêmes ceux qui sont en dedans du pli.

On peut donc poser en principe que tout câble de fil de fer convenablement lié, c'est-à-dire, dont les ligatures remplissent l'objet capital dont on a parlé, doit être considéré comme ayant la rigidité d'une barre de fer; et conséquemment un tel câble ne peut plus être roulé ni tourmenté par des plis et contre-plis quelconques, et conséquemment encore, on ne peut, lorsqu'il dépasse une certaine longueur très-limitée, ni le transporter, ni le mettre au levage;

Que si sur certains travaux cependant, on a mis au levage, tels quels, des câbles préalablement vernis et liés et transportés de loin, et que par suite il n'y ait eu ni fils rompus ni fils lâches, c'est que les fils ont pu glisser les uns sur les autres dans les changemens de figure du faisceau; et conséquemment les ligatures qui se sont prêtées à ce glissement n'avaient et n'ont point actuellement le degré de tension qui assure la dépendance des fils; d'où il suit qu'elles sont à peu près en pure perte pour la force des faisceaux qui, relativement à cette force, sont placés, comme on l'a fait voir, dans un cas très-défavorable.

Ces réflexions expliquent parfaitement le désordre observé dans les ligatures et les brins de nos grands câbles, après le court trajet qu'ils ont eu à parcourir pour passer du métier, à l'aire de madriers sur laquelle ils ont été déposés. Ce désordre se manifestait, par le chevauchement des révolutions des ligatures les unes sur les autres, par les inclinaisons diverses que ces révolutions, naguère perpendiculaires à l'axe du faisceau, affectaient maintenant, etc.; d'un autre côté, des brins sortaient et faisaient l'arc dans l'intervalle des ligatures, et tout cela annonçait évidemment le

déplacement relatif des brins favorisé par l'huile du vernis encore liquide, et ce déplacement était dû à la forme festonnée que le câble avait prise dans son mouvement.

Je regardai d'abord ces petits accidens comme sans conséquence, persuadé que, les câbles une fois en place, toutes choses s'arrangeraient par l'effet de la tension; mais je raisonnais mal: après six mois les vernis s'étaient épaissis, et tout glissement des brins du faisceau les uns sur les autres devenait manifestement impossible; la rupture d'un grand nombre de fils et l'inégale tension de la plupart des autres eût été le résultat infaillible du parti qu'on aurait pris, de laisser les choses *in statu quo*.

Pour prévenir de plus grands accidens, je n'hésitai point à faire enlever toutes les ligatures, en laissant seulement en place de chacune d'elles deux ou trois révolutions de fil n°. 8, pour s'opposer seulement à l'écartement des fils. C'est en cet état que les grands câbles ont été transportés et mis au levage, ainsi qu'on l'expliquera plus loin.

Mes prévisions sur le refus des fils de glisser et de s'égaliser, ont été justifiées par l'exemple des petits câbles verticaux de suspension : ceux-là, cependant, n'avaient que quarante brins; cela n'a pas empêché qu'il n'ait fallu en délier sur place plusieurs, dont les fils refusaient absolument de courir sous les ligatures, pour se tendre et reprendre leur place dans le faisceau.

De ce qui précède je crois être en droit de conclure, qu'il ne faut lier les câbles que d'une manière tout-à-fait provisoire avant leur mise en place; qu'il convient de laisser aux fils une entière liberté de courir les uns sur les autres et de s'égaliser jusqu'après le levage du tablier. Alors on peut procéder aux ligatures définitives, et pour qu'elles soient efficaces, il faut les distribuer de 50 en 50 centimètres au moins, donner à chacune d'elles de 8 à 10 centimètres de longueur, et n'effectuer les révolutions du fil n°. 8, qu'après avoir rapproché les brins du faisceau le plus exactement possible, à l'aide d'étaux de bois, dont les mâchoires portent chacune une partie cintrée de la demi-grosseur du câble.

J'ai promis d'être sincère, je tiendrai parole. Je m'étais tellement accoutumé à envisager la flexibilité des câbles en fil de fer, comme celle des cordes de chanvre (pour des plis d'une faible courbure s'entend), et tout ce que j'avais lu sur cette matière m'inspirait à cet égard une telle sécurité, qu'il ne m'était pas même venu à la pensée de m'oc-

cuper de l'influence que les nouvelles courbures des faisceaux mis en place peuvent exercer sur l'égalité de tension des brins. Cette influence est énorme cependant : pour en donner un exemple, je supposerai qu'un faisceau ait été formé en ligne droite, ou à très-peu près, sur 30 mètres de longueur et sur 5 centimètres de grosseur; je supposerai que, mis en place et partant d'un point d'attache, il vienne s'infléchir dans la gorge d'une poulie placée sur le pilier de la suspension, pour ensuite se rattacher à d'autres câbles, comme au pont de Vienne, par exemple : si le diamètre du faisceau se maintient, ou à peu près, dans le cours de l'inflexion, et que le rayon de courbure de cette inflexion et sa corde soient l'un et l'autre de 60 centimètres, la différence des chemins parcourus par les fils supérieurs et par les fils inférieurs s'élèvera à 3 centimètres; donc les brins supérieurs seront tendus déjà à 125 kilog. l'un, quand ceux de dessous ne le seront qu'à *zéro*.

Au pont de Tain, cet effet de l'inflexion paraît avoir été éludé par l'éparpillement spontané du faisceau sur la surface d'inflexion; mais aussi les fils sont isolés sur une assez grande longueur, et ne se protégent plus les uns les autres.

Au pont d'Argentat, il est arrivé que la différence des demi-courbes paraboliques, supérieures et inférieures, de chaque faisceau, s'est trouvée à très-peu près égale à la différence des deux arcs circulaires correspondans de l'inflexion : conséquemment, et à cause de la liberté qu'ont eue les fils de glisser les uns sur les autres pendant le levage du tablier, la compensation s'est parfaitement établie, et l'égalité de tension des brins a été maintenue; ce dont je dois remercier le hasard.

Pour prévenir cette cause d'inégalité dans les tensions, il faudrait évidemment confectionner les faisceaux suivant la courbure même qu'ils doivent prendre étant en place, ce qui n'offrirait pas de grandes difficultés.

Les autres causes d'inégalités sont : 1°. les plis ou petits festons que font certains fils; festons qui se maintiennent sous une tension de plus de 50 kilogrammes, et qui peuvent disparaître sous 150 kilogrammes, plus ou moins; 2°. les petits allongemens que subissent aussi les ajoutures des brins, bout à bout, pour des tensions supérieures à 50 kilogrammes; 3°. enfin, les variations brusques de la température pendant la confection des faisceaux.

Énoncer ces difficultés, c'est indiquer en même temps les moyens de

les écarter. Les plis, etc., seront sans influence si l'on tend les fils, soit instantanément, soit d'une manière permanente, en formant le faisceau, à un degré qui ne puisse plus être surpassé par les tensions ultérieures voulues par la suspension; et, quant aux changemens de température, on peut consulter un thermomètre, et, suivant son indication, débander ou bander le faisceau que l'on confectionne, pour maintenir l'égalité des longueurs, et conséquemment des tensions.

Pour donner une idée de l'effet d'un abaissement ou d'une élévation brusque de la température, je supposerai que pendant une matinée de novembre on effectue plusieurs révolutions d'un faisceau de 64 mètres de longueur, à 5° au-dessus de zéro; que le lendemain un revirement de temps fasse, à midi, monter le thermomètre à 12°, les fils tendus la veille à 5°, seront tous plus longs de $5^{mill.}$ 46 que les derniers; conséquemment, dans le travail général des faisceaux, les derniers porteront près de 10 kilogrammes chacun, avant que les autres aient commencé à travailler.

En somme, on voit qu'il faut beaucoup de précautions pour résoudre le problème de l'égale tension des fils; encore ne peut-on espérer de le résoudre qu'approximativement, en réduisant les différences à 4 ou 5 kilogrammes par brin.

Les fils de fer n°s. 17 et 18, et probablement tous les autres, s'allongent proportionnellement à la charge, depuis 0 kilogramme, jusqu'au terme où le mode de cohésion des molécules du fer n'est pas encore sensiblement altéré. Ce terme est au moins de 400 kilogrammes pour les fils n°. 18, de 5 à 600 kilogrammes de force absolue; et de 300 kilogrammes pour les fils n°. 17, du poids de $43^{g.}$ 98 le mètre courant, et de 400 kilogrammes de force absolue. Des expériences faites avec le plus grand soin, sur des brins de 64 mètres de longueur, ont donné, savoir :

Pour le n°. 18, $0^{mill.}$ 0788 d'allongement par mètre pour 10 kilogrammes de charge, depuis 0 kilogramme jusqu'à 400 kilogrammes;

Pour le n°. 17, $0^{mill.}$ 0951 d'allongement par mètre pour 10 kilogrammes de charge, depuis 0 kilogramme jusqu'à 300 kilogrammes.

On trouve dans le Mémoire de M. Séguin le tableau des allongemens d'un fil n°. 7, rapportés comme ordonnées à des abscisses représentant les tensions, et il paraîtrait que le lieu des allongemens est une courbe dont la convexité regarde l'axe des abscisses. Mais il est impossible que

le fil n°. 7 puisse constituer une exception à la loi commune; le résultat obtenu par M. Séguin doit être affecté de quelque légère erreur.

Si l'on cherche, d'après les données précédentes, l'allongement produit par un kilogramme sur un mètre de longueur de fil, et pour un millimètre de section, on trouve, savoir :

Pour le n°. 18. . . . $0^{mill.}$ 0579 ;
Pour le n°. 17. . . . $0^{mill.}$ 0536.

Le même coefficient, déduit des expériences de M. Duleau, a donné pour le fer en barre, $0^{mill.}$ 0500.

A l'aide de ces résultats on peut, en toute confiance, se rendre compte de l'allongement des courbes paraboliques d'un pont suspendu, sous une charge connue, et régler, en conséquence, *à priori*, les longueurs de ces courbes, pour arriver à une flèche donnée. Mais, nonobstant l'exactitude des calculs et les soins apportés à l'exécution, on peut être assuré de ne jamais atteindre la précision nécessaire pour qu'au levage tout soit bien à sa place. Les personnes qui ont l'habitude des travaux en comprendront facilement la raison. Ainsi, il faut de toute nécessité se ménager les moyens d'accourcir et d'allonger entre certaines limites, soit les tiges verticales de suspension, soit les câbles paraboliques. Il serait mieux encore de pouvoir user des deux expédiens à la fois. Le choix de ces moyens n'est pas une petite affaire : l'ordonnance du système en dépend, et souvent tel parti qui, considéré en lui-même, paraît fort simple, apporte au levage des difficultés incroyables, et augmente considérablement la dépense. Les vis et les boulons brisés ont été employés aux ponts de Tain et du Drac. Je reviendrai sur cet article.

Peinture des fils de fer.

J'ai suivi la méthode indiquée par MM. Séguin, je la crois défectueuse; l'huile siccative qui s'attache aux fils bouillis prend consistance sans faire corps, tellement qu'elle les enveloppe à la manière d'une pellicule élastique et tendre, dont la ténacité cède à un léger frottement. Cette pellicule rend tout-à-fait inefficaces les couches subséquentes de céruse dont on enduit l'intérieur et l'extérieur des faisceaux; et en effet le second vernis, ne portant pas immédiatement sur le fer, est soumis à toutes les chances de destruction qui menacent l'enveloppe d'huile

siccative; de plus, cette huile empêche les brins d'adhérer ensemble au même degré que s'ils étaient liés par un vernis solide.

Si j'avais de nouveaux câbles à confectionner, je ferais tous mes efforts pour trouver un moyen expéditif et économique, d'enduire préalablement les brins d'une ou de deux couches de peinture au minium; j'essaierais pour y parvenir d'éparpiller chaque paquet de fils en le suspendant à une barre armée de dents ou pointes pour en isoler les révolutions; bref, je tenterais tous les moyens d'arriver à ce but. Ainsi vernis les fils de fer pourraient, sans courir aucun risque d'oxidation, être pliés, tirés, en un mot assemblés en faisceaux et mis au levage. Après le levage, on passerait sur les faisceaux, non liés encore, une bonne couche à la céruse rendue un peu liquide par une addition d'huile d'olive, afin que la couleur pût s'insinuer jusqu'au centre. On commencerait cette opération immédiatement après la pose du tablier, puis on procéderait sans délai aux ligatures; et une dernière couche viendrait couvrir les parties extérieures endommagées par les étaux ou par d'autres causes inhérentes au levage.

J'approuve fort le parti qu'ont pris MM. Séguin d'employer la céruse de préférence aux autres oxides colorés, pour la peinture extérieure des fils et des câbles. Sur le blanc, le moindre point d'oxidation se décèle par un suintement rouge qui avertit. Si le suintement a son origine dans l'intérieur du faisceau, il faut chercher à peu près quelle est l'ouverture supérieure par où la pluie ou la rosée s'introduisent, et y verser un peu d'huile grasse bouillante. On efface ensuite la tache de rouille avec un peu de céruse, et si elle ne reparait plus c'est une preuve que l'huile a produit l'effet attendu.

Confection des grands et petits chaînons.

Le fer en barres parait devoir la préférence qu'il a obtenue, jusqu'à présent, sur le fil de fer, pour les parties des retenues qui traversent les maçonneries et descendent sous le sol, à la crainte qu'on a eue de ne pouvoir maitriser parfaitement l'oxidation des faisceaux dans un milieu constamment humide et où d'ailleurs toute inspection devient impossible. Il est selon moi une raison plus déterminante encore, c'est qu'un faisceau de fils de fer, n°. 18, ne se dresse passablement que sous une tension de 50 kilog., au moins, par brin, et que pour tendre à ce degré

seulement, les faisceaux de retenue d'amont ou d'aval d'un pont ordinaire, il faudrait agir préalablement sur eux avec une puissance de 40 à 60 mille kilog., ce qui est impossible relativement aux difficultés de position, etc. Or on comprend de reste qu'on ne doit point envelopper, dans une maçonnerie sans élasticité, un câble de fil de fer dont la longueur est susceptible d'une variation de plusieurs centimètres.

L'emploi du fer en barres était donc une nécessité du système adopté pour le pont d'Argentat; il est difficile de se figurer la quantité de défauts dont ce fer est rempli. Sur environ 200 pièces de 3m. 00 de longueur chacune, et de 30 sur 50 millimètres d'équarrissage, pièces spécialement commandées pour les grands chaînons, aux forges les plus renommées du Limousin, il ne s'en est pas trouvé 30, exemptes de fissures ou criques transversales commençant aux arêtes et s'étendant plus ou moins dans l'intérieur de chaque barre, dont la section se trouvait ainsi diminuée de toute l'étendue du défaut. Ces fers étaient d'ailleurs calibrés avec si peu d'exactitude, que, pour ne pas rester au-dessous de la section voulue, il a fallu accorder une tolérance de près de cinq millimètres en sus de chaque dimension d'équarrissage; on a donc payé beaucoup de fer inutile.

Les fers de la plupart des petits chaînons, des boulons, des tabliers, etc., ont été tirés des forges des Hans et de Bourzolles dans les départemens de la Dordogne et du Lot; ils étaient parfaits de qualité et de calibre, et je saisis cette occasion d'en témoigner publiquement ma reconnaissance à M. Deltheil, maître des deux établissemens (1).

Les grands chaînons et les boucles ont été essayés à 16 kilog. par millimètre carré, comme il a été dit page 7. Sur quarante-huit grands chaînons un seul a cassé net dans une de ses branches : en ce point une crique tranchait la barre à plus de moitié; cinq ou six autres se sont ouverts aux soudures des anneaux.

Sur soixante-douze boucles ou petits chaînons, une seule a cassé au milieu de la soudure de l'anneau, mais toutes celles qui avaient été forgées en fer du Limousin se sont ouvertes plus ou moins en divers points; il a fallu en refaire quatorze et en réparer une douzaine. Les petits chaînons avaient depuis 0m. 60 jusqu'à 1m. 00 de longueur de de-

(1) Il est juste de faire remarquer que ces fers n'avaient point d'aussi fortes dimensions en longueur que ceux des grands chaînons, qu'il a été plus facile conséquemment d'en soigner la qualité.

dans en dedans des anneaux, et 0^{m} 10 d'intervalle entre leurs branches dont l'équarrissage était de 25 millimètres sur 40.

De toutes ces expériences et de celles que j'ai été à portée de faire dans le cours de mes travaux, je crois pouvoir conclure qu'à rigoureusement parler on ne peut connaître la force d'une barre de fer qu'après l'avoir cassée; jusque-là tous les essais possibles n'apprennent autre chose sinon que la barre éprouvée a résisté à 12, 16 ou 20 kilogrammes par millimètre de section; le reste n'est qu'une probabilité dont le degré se mesure sur l'apparence de la barre.

Outre les crevasses apparentes, il en est de tellement serrées que la loupe même ne saurait les faire apercevoir; on ne les découvre qu'en chauffant le fer au degré convenable à sa qualité, et en le courbant de manière à placer sur la convexité de sa courbure le lieu présumé des crevasses; elles s'ouvrent infailliblement s'il y en a. Mais on sent qu'une telle épreuve, pour de longues barres, qu'il faudrait successivement infléchir sur deux sens, dans toute leur étendue, coûterait fort cher, et par le travail et par le déchet.

Le fer est quelquefois tranché à l'intérieur par de petites portions de laitier que le martinet ou les cylindres n'ont pu expulser, et qui, étendues ou laminées avec la barre, y forment de dangereuses solutions de continuité. Les chances de ces accidens divers diminuent avec la grosseur du fer : aussi conviendrait-il de substituer le fer méplat au fer carré, dans la confection des chaînons des ponts suspendus, et de s'arranger de manière que l'épaisseur du méplat n'excédât pas 0^{m} 015.

On a vu que le fil de fer avait aussi ses défauts, et qu'à ces défauts s'ajoutent des inégalités de tension presque inévitables; cependant j'ai la conviction, toute comparaison de dépense à part, qu'il y a bien moins de chances à courir dans l'emploi des câbles en fil de fer, que dans celui des chaînons de fer en barre.

Mais, dans les deux cas, il faut se tenir dans de larges limites relativement au calcul des sections. Pour le fer en barre, imparfait comme il l'est actuellement dans le commerce, je ne voudrais pas donner plus de 6 kilogrammes de tension à chaque millimètre carré dans l'état permanent, et je calculerais d'ailleurs la section avec un cinquième en sus, pour compenser les défauts de forge, s'ils étaient par trop multipliés (1).

(1) Ma proposition n'aura plus de fondement dès qu'il sera démontré qu'on peut ex-

Les imperfections du fer étant, comme on vient de le voir, très-nombreuses, il importe de ne point y ajouter par des formes vicieuses ou d'une exécution difficile. Je ne m'adresse pas ici aux ingénieurs qui sont placés dans le voisinage de ces grands établissemens où toutes les ressources sont déployées, où les engins et les mécanismes les plus ingénieux sont mis à la disposition des ouvriers les plus habiles; mais bien à ceux qui, comme moi, loin de tous ces secours, n'auraient, pour se tirer d'affaire, que le bras d'un forgeron de moyenne force et de moyenne intelligence, et les outils les plus indispensables. A ceux-là je conseille fort, quand il s'agira de gros fer, de n'employer jamais des chaînons à deux branches. La soudure pour ces chaînons n'est praticable qu'aux extrémités, dans le milieu des parties coudées: or, dans ces parties, on ne peut battre le fer que sur les faces de côté; il est, par conséquent, impossible de le parer en dedans, comme aussi de bien rapprocher et de bien souder les bords de l'amorce dans cette partie. C'est en vain qu'on emploie les châsses rondes et les mandrins, le dedans de l'anneau n'est jamais assez arrondi pour coller exactement sur son goujon; il faut donc avoir recours à la lime et au burin, ou se décider à caler de proche en proche: grande dépense dans le premier cas, sujétion effrayante dans le second. Il n'est pas besoin de dire que le trop juste ou le trop large peuvent provoquer la rupture de l'anneau.

Les barres uniques terminées par un œil à chaque bout, sont d'une exécution bien plus commode, et doivent être préférées sans comparaison; mais elles exigent encore des soudures au collet; et il serait à désirer que tout le travail du forgeron fût réduit à des soudures droites, ordinaires. Il faudrait pour cela donner à chaque chaînon la forme d'un 8 droit et allongé (Pl. V, fig. 20): cette forme permet, en effet, de couder le fer dans son plein, et il ne reste qu'à réunir les quatre bouts au milieu par une soudure unique; c'est-à-dire qu'on lie d'abord les deux branches de chaque partie par une petite chaude, et qu'on les amorce ensuite conve-

pulser complètement le laithier et la fonte d'une loupe d'un fort volume, et détirer par un procédé constant d'affinage et de martelage une barre de fer sans crevasses ni pailles; mais, tant que cette perfection dépendra à la fois de la qualité du charbon employé, de l'adresse, de la bonne volonté ou de la conscience d'un forgeron qui est à ses pièces, on verra, ce qu'on a toujours vu dans les fers de fortes dimensions, des barres parfaites accidentellement, et le plus grand nombre pleines de défauts.

nablement pour procéder à la soudure des quatre branches réduites à deux.

Mais quand la succession des chaînons n'a pas besoin d'être articulée, on peut leur donner une forme plus simple encore : on fait porter tête à chaque barre, et cette tête est prise dans un excès de fer ménagé à l'un des bouts, dans l'acte même du martelage. Les tiges ainsi terminées peuvent être liées entre elles, soit par l'intermédiaire des moises en fer fondu, soit par un enchevêtrement fort simple des têtes quatre à quatre (Pl. V, fig. 21 et 22). L'économie qui résulterait de cette main-d'œuvre porterait principalement sur la suppression des cylindres ou goujons, très-difficiles à bien arrondir avec le seul secours des étampes, et fort chers quand il faut les tourner (1).

En dernière analyse, le but qu'on doit s'efforcer d'atteindre, c'est de simplifier le travail de la forge, 1°. en diminuant autant que possible le nombre des soudures; 2°. en les éloignant des parties compliquées ou contournées, qu'on ne peut frapper immédiatement et promptement sur toutes les faces; 3°. en évitant les formes qui nécessitent l'emploi ultérieur de la lime ou du tour.

Levage des câbles et du tablier.

Le tablier devant être soutenu à 14$^{m.}$ 82 au-dessus des basses eaux de la rivière, il était impossible de songer à établir un pont de service quelconque, sans une dépense excessive et de grands dangers; car sur un fond de roc parfaitement à nu, il eût fallu implanter des goujons de fer pour fixer des montans, ou donner une grande base au système pour en

---

(1) Le capitaine Brown a proposé (*Edimburg philosophical journal*, n°. 11) l'emploi des barres droites renforcées aux extrémités et disposées de manière à être retenues dans une paire de joints à boîtes. (*Voyez* aussi Navier, pag. 47.) Il est aisé de se convaincre que le système du capitaine Brown diffère essentiellement de celui que je propose : dans le système de l'ingénieur anglais, en effet, les barres sont terminées en tête de coin, et doivent conséquemment agir avec une puissance immense pour ouvrir les boîtes dans lesquelles l'enchevêtrement a lieu, et bien que ces boîtes soient serrées par des liens de fer, il n'en est pas moins évident que la résistance de l'assemblage est plus chanceuse encore que dans le mode ordinaire par anneaux et par goujons.

préven'r le déversement; et, malgré tous ces soins, une crue subite (elles ont été très-fréquentes dans l'été de 1829), aidée des troncs d'arbres et d'autres corps flottans, aurait pu, en quelques secondes, emporter l'échafaudage, chargé de toute la charpente du tablier, des câbles, etc. On se figure sans peine les résultats d'une telle avarie.

Des obstacles invincibles empêchaient, d'ailleurs, l'établissement d'un pont de service sur bateaux, savoir : les rochers à fleur d'eau dont la rivière est couverte, et l'insuffisance en grandeur et en force des bateaux du pays (bateaux légers sans clous ni fers, du port de 6,000 kilog. chacun). Ainsi, d'une part, impossibilité de mettre à flot des bateaux d'une force convenable, et de l'autre impossibilité de s'en procurer. Le parti pris de procéder au levage sans point d'appui intermédiaire entre les d·ux culées, était donc un véritable parti de nécessité, auquel, dès le commencement, j'ai dû subordonner le système de suspension, etc.

Essayons de décrire la manœuvre de ce levage, qui, sans offrir des d'fficultés essentielles, exige cependant beaucoup de prudence et d'attention. On a érigé sur la plate-forme de chaque pilier, en commençant par ceux d'aval, un chevalet à quatre pieds, surmonté d'un tour à cannelures; deux rouleaux ont été appuyés en même temps sur les jambes du chevalet, de manière à dominer un peu le bât de suspension. D'autres tours ont été assujettis aussi sur l'extrados des voûtes de retenue, au moyen de tirans de fer et de traverses passant sous l'intrados des mêmes voûtes. (Pl. III, fig. 13.) A l'aide de ces appareils, il a été facile de jeter d'une rive à l'autre une forte traille de cent quatre-vingts fils de carret. Cette traille a été d'abord tendue sous une courbure de 10 à 12 mètres de flèche, et de telle manière, relativement à sa longueur, qu'après avoir embrassé trois fois le tour d'appel de la rive gauche, et dépassé ce tour de cinq à six mètres, il en restait encore sur la rive droite en-deçà du tour correspondant un rouleau de 130 mètres de longueur, qui, avec la partie développée de 144 mètres environ, faisait un total de 274 mètres.

Les choses ainsi préparées, on apportait sur place un demi-câble de 64 mètres de longueur; on le maintenait autant que possible dans une situation rectiligne; on l'étendait en arrière de sa culée droite sur un chemin de planches dirigé parallèlement à l'axe du pont. Alors on saisissait le bout du câble, pour l'élever de main en main au sommet du pilier, au moyen d'une échelle de meunier, et ce bout, qu'on faisait glisser sur les rouleaux inférieurs du chevalet, était immédiatement lié à sa

traille avec de la ficelle. Dès ce moment commençait la manœuvre du levage; les tours de la rive gauche, à un signal donné, appelaient la traille à mesure que ceux de la rive droite la laissaient filer. En même temps des ouvriers intelligens imprimaient au câble de fil de fer un mouvement de translation convenable, et le liaient de mètre en mètre à la traille à mesure qu'il arrivait au sommet du pilier. La traille et le câble marchaient donc d'un mouvement commun, en suivant la même courbure.

Pendant le trajet, on laissait prendre à la traille une flèche de 15 à 16 mètres, pour en rendre la tension moins considérable. On fera observer que l'étendue cylindrique de chaque tour d'en bas, n'aurait jamais pu contenir toutes les révolutions que comportaient les longueurs de cordes à enrouler et à dérouler. Aussi la corde ne faisait-elle que trois révolutions sur chaque tour, et la partie déroulée ou enroulée était saisie par des ouvriers qui laissaient venir en dévidant le rouleau de la rive droite, et appelaient en formant un nouveau rouleau sur la rive gauche.

Pour gagner du temps autant que pour prévenir tout accident, on avait doublé la traille par une corde de cent trente fils, laquelle appelait aussi le câble à l'aide d'un second tour établi sur la rive gauche. Cette corde de secours tenait coup pour la traille, et réciproquement quand il s'agissait de faire courir les trois révolutions de l'une ou de l'autre sur leurs tours respectifs.

L'opération marchait d'une manière régulière et continue, ainsi qu'on vient de le dire, jusqu'au moment où l'extrémité du premier demi-câble en fer arrivait au sommet du pilier. Dès ce moment on suspendait la manœuvre pour aller chercher le second câble qu'on étendait, comme le premier, en arrière de la culée droite. On rapprochait ensuite les croupières des deux parties, pour les réunir l'une à l'autre par deux boucles (Pl. II, fig. 14) et deux goujons, et l'assemblage était invariablement tendu par une armature, puis la manœuvre décrite recommençait.

Quand, enfin, toute la longueur du câble entier était passée, on enfilait, par l'extrémité de gauche, toutes les tiges verticales de la suspension de gauche, et par l'extrémité de droite, les mêmes tiges de la suspension de droite, et ces tiges, après avoir dépassé l'inflexion du câble sur le pilier, restaient suspendues au-delà des bâts sur l'origine de la courbe parabolique. On accrochait alors les extrémités du grand câble d'abord à ses points d'attache sur la rive droite, puis à ses points d'atta-

che sur la rive gauche, en forçant convenablement sur les tours d'appel. L'opération se terminait par le placement des parties infléchies du câble sur les systèmes de roulettes correspondans.

C'est ainsi qu'ont été successivement passés et tendus les douze câbles en fil de fer du pont d'Argentat.

Immédiatement après ce levage, on a procédé à la suspension des poutrelles, en commençant par les deux rives, et en s'avançant progressivement vers le milieu. A mesure qu'une poutrelle était accrochée à ses tiges, elle servait de point d'appui pour la suspension de la poutrelle suivante, et ainsi de suite. Des planches très-légères jetées sur ces poutrelles, et fixées provisoirement par de simples pointes de Paris, formaient un échafaud très-mobile, auquel la marche cadencée des ouvriers bardeurs imprimait un mouvement ondulatoire effrayant. La confiance aveugle que ces ouvriers avaient en moi, a pu seule les décider à s'aventurer ainsi chargés, sur une aire désunie et tremblante, élevée de 15 mètres au-dessus des rochers dont le lit de la Dordogne est semé.

Après la pose des poutrelles, on a pu mesurer les distances respectives des câbles paraboliques de chaque côté, dans le milieu de leur courbure, et calculer ainsi les raccourcissemens ou allongemens dont chacun d'eux s'est trouvé avoir besoin, pour prendre la flèche voulue. C'est encore à l'aide de la traille et des cales en fer introduites dans les goujons brisés des chaînons d'attache de la rive droite, que les tensions ont été définitivement réglées (Pl. III, fig. 9 et 9 *bis*). Cette opération a été longue et laborieuse.

On s'est occupé ensuite à régler les longueurs des tiges verticales de suspension, en lâchant ou en serrant les écrous des poutrelles, de manière à les placer toutes dans le même alignement suivant les pentes et contre-pentes déterminées. C'est à l'aide de voyans qu'on a opéré, en faisant pour chaque poutrelle évacuer le plancher par les ouvriers, afin qu'aucun poids inégalement distribué ne vînt modifier les courbures paraboliques dans le moment du dégauchissement.

Cette opération terminée, les longrines des trottoirs ont été clouées sur leurs lignes, ainsi que les semelles des garde-corps; et le plancher des trottoirs, posé immédiatement après, a pu servir au levage des garde-corps. Enfin les madriers et le platelage sont venus compléter le système.

Chose assez rare sur des travaux de ce genre, on n'a eu à déplorer au-

cun accident; il faut dire aussi que la plupart des ouvriers étaient des hommes très-adroits et depuis long-temps habitués aux grands travaux, presque tous avaient fait leur apprentissage au pont de Souillac.

Réflexions sur le choix d'un système pour les retenues, les points d'attache, les piliers, la suspension, etc.

J'établis comme principes importans, savoir :

1°. Qu'il faut éviter toutes les combinaisons de maçonneries et autres, qui conduisent à faire dépendre la stabilité de données incertaines sur la cohésion des mortiers, sur les frottemens, etc.;

2°. Qu'il ne faut point subordonner la stabilité d'un système à la rigoureuse et parfaite exécution d'une ou de plusieurs de ses parties, tellement que le succès dépende entièrement du degré d'habileté d'un ouvrier;

3°. Qu'on ne doit point entremêler dans une maçonnerie des matériaux de dimensions par trop inégales, afin qu'à raison de l'inégalité des tassemens, l'effet des pressions ne puisse se faire sentir plutôt sur telle partie que sur telle autre;

4°. Que la solidité ne doit pas dépendre à ce point de l'immobilité absolue des retenues et des supports, que la ruine complète et instantanée du pont soit la conséquence immédiate d'un léger tassement des maçonneries;

5°. Qu'il faut se garder de toute disposition qui, dans les câbles ou chaînes de retenue, exposerait certaines parties à se tendre ou à se détendre plus que d'autres dans les grands changemens de température, et provoquerait conséquemment des tiraillemens sur des points fixes, ou obligerait les fers à réagir sur eux-mêmes hors des limites prévues par le calcul des sections;

6°. Qu'on doit se ménager des moyens faciles de procéder au levage des câbles et du tablier, sans avoir besoin d'aucun point d'appui entre les deux culées, comme aussi de pouvoir, sans interrompre le passage, enlever les diverses parties du tablier susceptibles de réparation, remplacer successivement, le cas échéant, les câbles actuels par de nouveaux câbles, etc., etc.

Les dispositions du pont suspendu d'Argentat violent quelques-uns de ces principes et satisfont aux autres. La face antérieure des piliers étant

dirigée parallèlement à la résultante des tensions des câbles, rendues égales de part et d'autre par le jeu des roulettes, cette résultante ne sort point du massif, et conséquemment il y a stabilité dans l'équilibre; de plus, les assises de la maçonnerie sont pressées de manière à rendre infiniment petite la tendance au glissement ou disjonction horizontale.

Les ancres de retenue pressent de bas en haut, et perpendiculairement au plan des assises, le massif qui réagit sur eux; jusque-là tout est conforme aux règles de la bonne construction : mais à l'inflexion des chaînons tout devient conjectural, parce que tout est inconnu, savoir : l'effet du frottement de ces chaînons contre les maçonneries, et conséquemment la direction de la résultante, sa valeur et son effet normal sur l'extrados de la grande voûte de buttée. De cette ignorance naît la nécessité de multiplier les résistances en les distribuant dans une étendue angulaire telle que la résultante y soit nécessairement comprise; de là surcroît de dépense.

Il est des cas, cependant, où il est presque impossible de ne pas disposer les retenues à peu près comme je l'ai fait : c'est lorsqu'une rue ou communication importante empêche le prolongement rectiligne des chaînons d'attache. Il est vrai qu'alors on peut imiter le système employé au pont de Tain; mais ce serait se jeter, ce me semble, dans un bien plus grand inconvénient, car de toutes les combinaisons possibles il en est peu, si je ne me trompe, qui conduisent à employer un aussi grand cube de matériaux, et où d'ailleurs l'action des puissances soit dirigée d'une manière aussi contraire à la vraie résistance des maçonneries.

Le quatrième principe est évidemment méconnu par l'emploi des fers courbes, car un léger mouvement dans l'arc de maçonnerie, qui les supporte immédiatement, amènerait un changement de forme, et ce changement provoquerait une rupture. L'inflexion du fer, quand on opère surtout sur des barreaux de fortes dimensions, et qu'il faut donner simultanément aux deux branches d'un même chaînon une courbure étendue et déterminée; cette inflexion, disais-je, est une opération très-laborieuse. Il est fâcheux, d'ailleurs, d'être obligé de donner au fer essayé des formes nouvelles, qui ôtent toute possibilité de l'éprouver ultérieurement; car il n'est pas évident qu'aucune altération ne puisse résulter d'un changement de forme.

Le deuxième principe est aussi méconnu en ceci, qu'il est absolument

impossible avec des moyens ordinaires d'infléchir les chaînons sous des courbures parfaitement égales, et que l'intervention des cales entre ces chaînons et la pierre devient une nécessité. Or, l'ajustement de ces cales est une opération très-délicate, qui ne peut être confiée à un simple ouvrier; en pareil cas, on ne doit s'en rapporter qu'à soi-même, et cependant que de circonstances peuvent ne pas le permettre!

Les chaînons enveloppés dans les maçonneries n'étant soumis qu'à de très-faibles variations de température, ne se trouvent point dans le cas énoncé au cinquième principe. Quant aux portions de câbles comprises entre les points d'attache et le sommet des piliers, elles ont, au moyen des rouleaux, toute faculté de s'allonger ou de s'accourcir.

Le sixième principe a été observé : les câbles sont tous indépendans les uns des autres, et par leurs points d'attache, et par leurs points de suspension : on a donc pu les mettre au levage successivement et dans un ordre quelconque. Réciproquement on peut enlever un câble pour le remplacer, sans toucher en rien aux autres; il suffit pour cela de dégager ses poutrelles de leurs boulons de suspension, et de donner provisoirement ces poutrelles à porter aux cinq câbles restans, et même, à la rigueur, elles seraient suffisamment maintenues par les boulons des garde-corps.

D'un autre côté, il est facile de substituer une nouvelle poutrelle à une poutrelle gâtée, sans interrompre le passage, etc., etc.

On a vu comment on a pu procéder au levage du tablier, de proche en proche, sans point d'appui; cette facilité n'aurait plus lieu si, comme dans d'autres ponts, les poutrelles étaient supportées par des longrines, soutenues elles-mêmes immédiatement par des tiges verticales. Je ne prétends pas dire qu'alors le levage sans échafaud fût impossible; je fais seulement remarquer qu'il présenterait des difficultés qui ne se sont pas rencontrées dans le cas actuel.

Il est certain aussi que, dans le système actuel, la rigidité du tablier n'est maintenue que par le garde-corps, et qu'il est conséquemment interdit de donner à volonté à ce garde-corps des formes légères et gracieuses, faculté, au contraire, tout-à-fait illimitée, quand la rigidité est due à des cours de longrines sous-perposées. Voilà donc des compensations qui peuvent faire hésiter dans le choix d'un système. Je recommande expressément de s'attacher à celui qui, à avantages égaux pour

la rigidité, offre la plus grande légèreté; c'est toujours là le but auquel on doit viser dans les ponts suspendus.

La disposition des câbles en surface gauche (disposition imitée du pont de Tain) a quelque chose de très-gracieux en élévation géométrale. L'ensemble des courbes figure une immense guirlande jetée d'une rive à l'autre; mais les tiges de suspension tirent toutes obliquement, et celles qui partent des courbes supérieures rencontrent, vers le milieu du pont, les courbes immédiatement inférieures contre lesquelles elles poussent avec force, ce qui est un inconvénient.

En laissant tomber chaque courbe dans son plan vertical, il faudrait allonger considérablement toutes les poutrelles; les tenir inégales serait d'un mauvais effet; et, dans les deux cas, il y aurait défaut de construction, à cause de l'inégalité des portées; si on se décidait d'ailleurs à prendre ce parti, il est évident qu'il n'y aurait pas de raison pour que les courbes eussent des flèches différentes.

La disposition la plus régulière et la plus simple en apparence, paraît être celle où les câbles, quel qu'en fût le nombre, seraient compris dans le même plan vertical, et formeraient des courbes équidistantes. Les tiges de suspension, à cheval sur leurs courbes respectives; embrasseraient les courbes inférieures; c'est-à-dire que chaque tige aurait dans toute sa longueur ses deux branches séparées à la manière des anneaux droits. Mais de grandes difficultés se présenteraient sur les piliers aux points d'inflexion : l'emploi des poulies d'un grand diamètre serait impossible, et les roulettes établies par étages s'arrangeraient difficilement, ce me semble, avec la condition de pouvoir enlever, raccourcir ou allonger un câble, sans toucher aux autres.

Je ne me permets ces digressions que pour justifier ce que j'ai dit ci-devant, que tout est tellement coordonné dans un système de suspension, combiné avec les facilités d'exécution ou de levage, qu'on ne peut toucher à une partie sans que toutes les autres n'en reçoivent des modifications nécessaires et essentielles. Il est sous-entendu que je suis toujours placé dans la même hypothèse, savoir, le secours d'une forge ordinaire, et conséquemment la plus grande simplicité, soit dans les formes du fer forgé, soit dans celles du fer fondu, etc. Si on sort de là, et que d'ailleurs on ait recours à la pierre de taille, tout devient possible, l'économie exceptée. Or, il n'y a pas si loin qu'on le croirait de la dépense d'un pont ordinaire exécuté avec économie, à celle d'un

pont suspendu exécuté avec luxe; et quand les choses arrivent à ce point, les ponts suspendus ne sont plus que des entreprises de fantaisie.

Ceci me conduit naturellement à dire un mot, sur l'une des clauses les plus expresses de la concession des ponts suspendus : on veut que ces ponts ne puissent être livrés au public qu'après avoir subi une épreuve de 200 kilogrammes par mètre carré : de là l'obligation de donner aux maçonneries, des dimensions beaucoup plus fortes que celles dont on pourrait se contenter, si on avait dix-huit mois ou deux ans de délai jusqu'à la grande épreuve; et cela à cause de l'insuffisance évidente des mortiers, qui, à moins d'être fabriqués avec une chaux hydraulique de première qualité, sont nécessairement peu avancés quand on met la dernière main aux travaux. Il y aurait, je crois, un moyen de concilier la tolérance dont je parle, avec les garanties dues à la sûreté publique; il s'agirait d'introduire dans le cahier des charges, un règlement particulier pour la police du passage, pendant le délai accordé; par exemple, de déterminer le nombre de chevaux, de bœufs, de charrettes, etc., qui pourraient se trouver en même temps sur le tablier.

Je plaide ici, et dans l'intérêt des concessionnaires et dans l'intérêt général. Si le gouvernement désire, en effet, que les communications faciles se multiplient, il faut qu'il donne aux capitalistes toute la latitude possible pour bâtir avec économie; il faut qu'il leur permette d'élever des culées et des supports en maçonnerie ordinaire, en se tenant aussi près que la prudence le permet, des moindres dimensions voulues par les lois de la stabilité. Or, de la résistance d'une maçonnerie fraîche à celle de la même maçonnerie âgée de deux ans, il y a une différence de 100 à 1000, pour peu que la chaux employée soit hydraulique.

J'ai vu le pont d'Argentat couvert de curieux avant l'épreuve : on s'y promenait en se coudoyant, et cependant il n'y avait pas cinq cents personnes sur un tablier de 420 mètres superficiels. Il me semble donc qu'on pourrait prendre le terme de 70 kilog. par mètre superficiel, pour le régulateur de l'épreuve provisoire à faire subir aux ponts suspendus, dont les retenues et les piliers sont construits en petite maçonnerie. La charge totale, calculée dans cette hypothèse pour le pont d'Argentat, se serait élevée à 29,400 kilog., ce qui équivaut à soixante-dix bœufs de forte taille ou à six charrettes à cinq chevaux, chargées chacune de soixante-

5.

dix quintaux, etc.; c'est-à-dire que, modifié relativement à cette épreuve provisoire, le règlement de la police du passage offrirait encore une latitude au-dessus des besoins ordinaires de la circulation.

Je ne terminerai pas ce que j'avais à dire sur l'essai des ponts suspendus sans faire observer que, selon la nature des matériaux employés comme poids et le mauvais temps qui peut survenir pendant les trois jours d'épreuve, la charge peut s'accroître de plus de moitié. Je suppose qu'on ait répandu et régalé sur le tablier du sable ordinaire de 1600 kilog. le mètre cube pesé sec, et qu'il survienne un ouragan mêlé de pluie (comme on a vu à Argentat en 1819). Par le seul fait de la pluie, chaque mètre cube de sable se chargera de 332 kilog. d'eau; et si l'ouragan plonge à 45° et marche avec une vitesse de 30 mètres par seconde, la pression qu'il exercera sur chaque mètre superficiel du tablier s'élèvera à 68 kilog. (1). De graves accidens pourraient être la suite d'un pareil concours de circonstances.

De l'avenir des ponts suspendus.

Les maçonneries des ponts suspendus sont soumises, quant à leurs fondations, aux mêmes chances d'avaries et de dépérissement que les maçonneries ordinaires; et, quant aux piliers, soit que le tirage des câbles ou des chaînes les presse verticalement, soit qu'il tende à les renverser en agissant obliquement sur leurs assises, on peut dire avec certitude que chaque année ajoute aux probabilités de leur durée, puisqu'ils ont subi la plus grande des épreuves au moment où la résistance des maçonneries n'était pas le $\frac{1}{10}$ de ce qu'elle doit devenir.

Cette conclusion ne serait pas tout-à-fait exacte, s'il s'agissait de piliers en pierre de taille. Ce genre de maçonnerie ne peut en effet que perdre en vieillissant, puisqu'il possède toute sa force dès le premier instant.

---

(1) La vitesse de l'ouragan qui renverse les édifices et déracine les arbres est de 45 mètres par seconde. Il n'est pas rare de voir les ouragans se former sur les montagnes et se précipiter dans les vallons sous une forte inclinaison. Le résultat énoncé ci-dessus a été calculé d'après les formules données par M. de Coriolis, pour évaluer la pression du vent sur les ailes des moulins à vent. (*Voyez* le savant ouvrage publié par cet ingénieur sur le calcul des machines.)

C'est ainsi qu'aux piliers du dôme de Sainte-Geneviève, les lézardes et les éclats, d'abord en petit nombre, firent, de 1780 à 1797, de si grands progrès qu'on ne pouvait plus les compter. Mais il y a si loin de la pression exercée sur ces piliers (elle n'aurait dû être que de 26 kil. 89 par centimètre carré, si la pierre eût porté bien exactement dans toute l'étendue des assises sur un bon bain de mortier, mais elle s'est élevée à 107 kil. 56 par l'effet du démaigrissement des joints) à celle qui agit sur nos maçonneries les plus hardies, que toute appréhension reste sans fondement, à moins que la pierre employée ne soit gelisse ou posée d'une manière vicieuse, ou qu'enfin un mauvais système de suspension ne produise sur certaines assises des tiraillemens oscillatoires, qui, tout petits qu'ils soient, n'en auraient pas moins à la longue une influence funeste. A cela près, les ponts suspendus ne sont pas plus exposés à périr par les maçonneries que les ponts ordinaires; mais la question ne saurait être aussi facilement discutée en ce qui touche la durée des fers; on n'a pu jusqu'à présent raisonner sur cette durée que d'une manière conjecturale. Il est certain que les molécules des corps solides peuvent insensiblement se déplacer et affecter de nouvelles positions relatives. On a vu des ressorts d'acier long-temps bandés perdre leur élasticité; pourquoi n'en serait-il pas de même d'une barre ou d'un fil de fer soumis à une grande tension permanente? L'allongement des fibres, regardé comme compatible avec le maintien de l'élasticité, a été déduit d'expériences qui n'ont duré qu'un jour, qu'un instant peut-être; serait-on arrivé au même résultat s'il eût été possible de prolonger ces expériences jusqu'à six mois ou un an? Le temps répondra à ces questions. En attendant, les probabilités de durée seront toujours en raison inverse du travail des fers. Les ponts suspendus se vendront comme toutes les propriétés immobilières; leur valeur ne sera pas seulement calculée sur leur produit, mais elle se règlera aussi sur le degré de tension des chainons ou des câbles : à produit égal, un pont dont les fers travaillent au $\frac{1}{4}$ de leur force absolue ne vaudra certainement pas autant que celui dont les fers ne travaillent qu'au $\frac{1}{5}$ ou au $\frac{1}{6}$; et, à ce sujet, on a droit de s'étonner que le gouvernement, héritier futur des ponts suspendus, ait borné son influence à prescrire les largeurs des tabliers, sans s'inquiéter d'ailleurs de la force de la suspension. L'épreuve de 200 kilog. par mètre superficiel n'impose qu'une limite dont on peut se tenir aussi loin qu'on le veut. Aussi il plait à tel de fixer à 8 kilog.,

à tel autre à 10 ou 12, le travail permanent des fers par millimètre carré. Il serait temps de mettre fin à cet arbitraire.

Quant à la grande question sur l'emploi comparé du fer en barre au fil de fer, elle ne peut tarder à se résoudre. S'il m'était permis d'énoncer mon opinion, je dirais que l'avantage doit finir par rester au fil de fer, parce que dans l'état de nos connaissances chimiques, il est impossible de ne pas trouver quand on le voudra nn vernis capable de préserver à jamais les brins d'un faisceau de toute oxidation. Il est également impossible, quand on s'en occupera sérieusement, de ne pas surmonter les petites difficultés qui s'opposent à l'égalité de tension de ces mêmes brins, et lorsqu'on en sera venu à ce point, tous les avantages seront pour le fil de fer : 1°. par l'économie qui résulte du moindre poids à force égale (1) ; 2°. par la célérité de l'exécution ; 3°. par la certitude, à très-peu de chose près, de la force des faisceaux ; 4°. par la simplicité et l'uniformité de l'appareil de la suspension ; 5°. par la facilité du levage, etc.

Il paraît que la multiplicité des barres et des articulations que nécessite l'emploi du fer forgé, gâte singulièrement l'effet des courbes. L'œil est arrêté sans cesse par des genous et des boulons qui en interrompent la continuité. Rien de cela n'a lieu avec les câbles en fil de fer parce qu'on peut les former de deux ou d'une seule longueur, si l'on veut, parce que les tiges verticales avec leurs ganses légères et aplaties, et leur mince faisceau, disparaissent en quelque sorte pour laisser aux courbes toute leur pureté.

---

(1) La résistance absolue moyenne de fils de fer de tous numéros est de 60 kilogrammes ; mais elle est effectivement de 75 kilogrammes par millimètre carré pour les numéros compris entre 17 et 19 inclusivement, c'est-à-dire pour ceux dont on compose ordinairement les câbles des ponts suspendus. La résistance absolue du fer forgé s'élevant au plus à 40 kilogrammes, dans les mêmes circonstances, le rapport est de 0,533. Cependant, pour obtenir du fer en barre le même travail relatif que du fer filé, il faut au moins en doubler la section, et cela parce qu'il faut trouver dans cette section de quoi faire équilibre à l'excédant de poids introduit par le fait même de l'emploi des barres. Pour qu'il y ait égalité dans les dépenses, il est donc nécessaire que 2 kilogrammes de fer forgé (supposé sans défauts), peint et mis en place, ne coûtent pas plus qu'uo kilogramme de fils de fer peints, réunis en faisceau et mis eo place. Oo verra ci-après de combieo il s'en maoque que l'égalité ait lieu.

Ce n'est que par de telles considérations que l'on peut définitivement se rendre compte de l'effet étonnant du pont d'Argentat vu de l'aval ou de l'amont à 100 ou 150 mètres de distance (effet qu'aucun dessin géométral ne peut rendre) : quoiqu'il faille laisser une bonne part au paysage, il n'en est pas moins certain que l'attention est principalement captivée par la netteté des lignes.

NOTE

SUR LE PRIX DE MAIN-D'ŒUVRE ET LES FAUX FRAIS

POUR LA FABRICATION DES CABLES EN FIL DE FER.

La fabrication des câbles en fil de fer étant encore, quant aux prix de main-d'œuvre et faux frais, une chose tout-à-fait inconnue (je dis inconnue, parce que les personnes qui possèdent des données sur cette matière ne les ont pas publiées), j'ai cru devoir consigner ici les résultats extraits des pièces de dépense de la comptabilité du pont Marie.

Voici l'état de l'atelier : il y avait deux métiers établis sur deux lignes parallèles, ce qui permettait de confectionner deux demi-câbles en même temps. On était abrité sous une galerie de 68 mètres de longueur, et de 3 mètres de largeur, non fermée, et couverte en chaume. Sa charpente, construite avec toute la légèreté possible, en chêne refendu, avait tout juste la solidité nécessaire pour résister au vent; les fermes en étaient espacées à trois mètres de milieu en milieu, et se composaient chacune de deux poteaux implantés dans le sol à 60 centimètres de profondeur, et arc-boutés de dehors en dedans par de petites contrefiches, plus de deux arbalétriers réunis à demi-hauteur par un entrait. Les poteaux, dans le sens de la longueur, étaient coiffés par des cours de sablières, et les arbalétriers réunis par des pannes au nombre de trois pour chaque versant, dont les deux supérieures tenaient lieu de faîte. Tous ces bois étaient d'égale force, sur 6 centim. d'équarrissage, et assemblés à simples entailles avec des clous. La paille de la couverture n'empêchant point la pluie de fouetter par côté, on avait attaché aux sablières, en forme de voiles, de longues pièces de toiles, qu'on rabattait dans les temps de pluie.

Une grange, attenante au champ où était la galerie, servait d'ailleurs de magasin pour loger les colis de fil de fer, et les divers ustensiles et outils de l'atelier.

Les choses étant ainsi disposées, on a dans l'espace de sept mois et demi réuni en faisceaux, tant pour les grands câbles que pour les petites cordes de suspension, 20,951 kilog. de fil de fer n°. 18, y compris le poids des fils n°. 8, et n°. 2 employés aux ligatures.

Les 20,951 kilog., pris à Lyon et rendus à Argentat, ont coûté de port et d'achat.	21,885 fr. 40 c.
Pour former les faisceaux, les lier, vernir préalablement et après coup les brins, on a dépensé (les ouvriers étant payés à 2 fr. 25 c. par jour), ci.	2,968 fr. 38 c.
Les faux frais pour galerie, magasin, loyer du chantier, outils, charpentes, ferremens, garde du chantier et conduite du travail, se sont élevés à.	2,909 fr. 81 c.
Il a été dépensé en huile de lin, litharge, céruse, essence pour les vernis, ci.	2,277 fr. 92 c.
Ainsi, la dépense totale pour les 20,951 kilog. de câbles prêts à mettre en place, s'est élevée à.	30,041 fr. 51 c.
Partant le kilog. de câble, non compris les fontes pour croupières, a coûté, ci.	1 fr. 433
En ajoutant les fontes, ci.	0 fr. 026
Il vient en tout par kilog.	1 fr. 459

Ce prix serait un peu fort à raison de l'obligation où l'on s'est trouvé de repeindre les faisceaux après les avoir déliés et liés une seconde fois; on estime qu'il eût été possible, en suivant une autre marche, d'économiser 700 fr. sur les frais de peinture : mais, d'un autre côté, il eût fallu élargir la galerie de 2 mètres pour pouvoir y laisser tous les câbles à couvert. Ainsi, tout compensé, on peut accorder pleine confiance au prix ci-dessus, quand on se décidera à procéder comme je l'ai indiqué, et à donner à ce genre de travail tous les soins qu'il réclame.

Un entrepreneur pourrait aisément se charger d'une semblable fourniture à 1 fr. 50 c. le kilog., 1°. parce qu'il trouverait des ouvriers à moins de 2 fr. 25 c. par jour; 2°. parce qu'il tirerait parti des pailles, toiles, bois, fers et outils provenant des galeries, matières et objets dont je n'ai tenu aucun compte.

Les faux frais dans le compte rendu qui précède se sont élevés à peu près au même taux que la main-d'œuvre. Ces sortes de dépenses sont la véritable pierre d'achoppement de tous les détails estimatifs; les prix de main-d'œuvre, quoique mieux connus, varient cependant encore entre des limites très-étendues, et les moindres circonstances les modifient tellement qu'on ne saurait mettre trop de soin à en tenir note, ainsi que du degré d'influence exercé par elles.

On a effectué, en 1828, pour les culées, retenues et piliers du pont d'Argentat 864 mètres 50 cent. cubes de maçonnerie de moellon (schiste tendre

de 6 à 15 cent. d'épaisseur sur une surface de lit de $\frac{1}{16}$ à $\frac{1}{4}$ mètre carré) sur la rive droite, et 822 mètres cubes sur la rive gauche : de part et d'autre l'assujettissement à des paremens circulaires de voûtes, à des angles, etc., était le même. (*Voy.* les coupes et élévations, Pl. I.) Mais sur la rive droite, il fallait prendre les matériaux au niveau des fondations pour les monter à toutes les hauteurs, depuis 2 mètres jusqu'à 19 mètres 40 cent.; sur la rive droite, les mêmes matériaux étaient déchargés sur la sommité d'une berge, élevée elle-même de 7 mètres 86 cent. au-dessus des fondations, et de plus ces matériaux conservaient nécessairement un peu plus de volume que ceux de la rive droite, qui supportaient tout le déchet dû au passage de la rivière en bateau. Par le seul fait de ces différences il a fallu, savoir :

Pour la confection des 864$^{\text{mèt. cub.}}$ 50 de la rive droite.	Journées de maçons. . .	1352 j.	98
	Id. de manœuvres.	2641	»
Pour la confection de 822 mètres cubes de la rive gauche.	Journées de maçons. . .	985	18
	Id. de manœuvres.	2054	»

Il est vrai de dire (et cela était de rigueur), que la maçonnerie a été faite avec beaucoup de soin : l'occupation des manœuvres consistait à monter le moellon et le mortier, à faire le mortier au rabot, et à dresser et démonter les échafauds.

On voit, par cet exemple, qu'il a suffi du secours d'une berge et d'une légère variation dans le volume du moellon pour produire une diminution de près de $\frac{1}{4}$ sur le prix de main-d'œuvre. Si l'on compare, d'ailleurs, ces résultats à ceux que fournissent d'autres expériences faites sur des maçonneries basses à un seul parement ou sur des remplissages, on trouve des différences énormes, qui font sentir la nécessité de procéder avec beaucoup de réserve quand on établit des prix par analogie avec d'autres prix connus.

PONTS ET CHAUSSÉES.

11e. INSPECTION.

DÉPt. DE LA CORRÈZE.

ROUTE ROYALE No. 120, DE RHODEZ A LIMOGES.

PONT SUSPENDU D'ARGENTAT.

PROCÈS VERBAL DES ÉPREUVES FAITES AVANT DE LIVRER LE PONT AU PUBLIC.

Exposé.

La concession d'un pont suspendu, à construire sur la Dordogne à Argentat pour le passage de la route royale, no. 120, de Rhodez à Limoges, a été accordée à M. le comte Alexis de Noailles, par l'adjudication du 20 juin 1827, et par l'ordonnance royale du 28 août suivant. Les conditions de cette concession sont établies dans un Cahier des charges, arrêté le 7 avril de la même année, par M. le directeur général des ponts et chaussées, et par S. Exc. le Ministre de l'intérieur : suivant l'article 4 de ce Cahier des charges, le pont doit être soumis, après que les travaux auront été achevés, et avant que le public soit mis en jouissance du passage, à des épreuves dont la nature est déterminée par ledit article, et dont l'ingénieur en chef du département doit dresser procès verbal.

Par sa lettre du 9 septembre 1829, M. le préfet a informé le soussigné, ingénieur en chef au corps royal des ponts et chaussées, chargé du service du département, que les travaux seraient terminés le 16, et que le concessionnaire demandait que le pont fût soumis aux épreuves voulues par l'article 4 du Cahier des charges.

En conséquence l'ingénieur en chef susdit s'est rendu le 21 septembre à Argentat, et a procédé d'abord à une reconnaissance générale de l'état du pont.

(Suit la description du pont qu'on a cru devoir omettre, attendu qu'on la trouvera avec plus de détails dans le cours du mémoire qui précède.)

État des ouvrages.

En faisant la reconnaissance générale, d'après laquelle la description ci-

dessus est établie, l'ingénieur en chef s'est livré à l'examen détaillé de toutes les parties de la construction, qu'il a trouvées dans le meilleur état : il n'existait dans les maçonneries aucune lézarde (1), aucune déviation de l'aplomb ; les ferrures ne présentaient à leurs surfaces aucune solution de continuité, et ne paraissaient nulle part avoir été forcées ; on n'apercevait aucune rupture dans les fils de fer qui composent les câbles : enfin tous les bois paraissaient parfaitement sains.

Épreuves.

D'après l'art.   du cahier des charges, le pont doit être soumis à des épreuves telles qu'il ait à supporter, indépendamment de son propre poids, une charge de 200 kilogrammes par mètre superficiel de plancher : cette charge doit rester pendant trois jours entiers sur le pont.

Le concessionnaire a présenté, pour opérer la charge, du sable mêlé de gros graviers qu'il avait fait approvisionner auprès de la culée de gauche, et des galets qu'il avait fait approvisionner auprès de la culée de droite. On s'est occupé aussitôt de déterminer la pesanteur spécifique de ces matières : à cet effet, on a employé une caisse légèrement conique, ayant intérieurement 46 centimèt. $\frac{1}{2}$ de diamètre moyen, et 51 centimètres $\frac{1}{2}$ de hauteur, et contenant, par conséquent, un volume de $0^{\text{mét. cub.}}$ 087 ; on a rempli cette caisse avec du sable pris dans l'approvisionnement susdit, et on a trouvé que le poids de cette quantité de sable était, déduction faite de la tare, de $189^{\text{kil.}}$ 25, d'où on conclut que le poids d'un mètre cube est de 2175 kilogrammes ; de même on a trouvé que le poids des galets nécessaires pour remplir la caisse était de $172^{\text{kil.}}$ 50, d'où on conclut que le poids d'un mètre cube est de 1983 kilogrammes.

La largeur du plancher entre les faces intérieures des garde-corps étant

---

(1) Quelques lézardes, qui s'étaient manifestées dans les murs d'une des boutiques construites aux entrées du pont, n'avaient aucun rapport avec les ouvrages dont il s'agit de constater la stabilité. Cette boutique est celle d'amont sur la rive gauche, elle est assise en partie sur une voûte en moellon, construite pour le passage de la route au-dessous de la rue du Faubourg-du-Bastier, laquelle voûte était fraîchement décintrée ; et les lézardes dont on vient de parler étaient dues évidemment au tassement de cette voûte. Au reste, les lézardes n'ont fait aucun progrès pendant l'épreuve.

de $4^{m.}$ 20, la charge à faire supporter au pont par mètre courant est, à raison de 200 kilogrammes par mètre superficiel, de 840 kilogrammes, ce qui exige, d'après les pesanteurs spécifiques qui viennent d'être trouvées, $0^{met. cub.}$ 386 de sable, ou $0^{m.}$ 424 de galets. On s'est proposé de placer les quantités de sable ou galets dans l'espèce de caisson que forme, sur le tablier du pont, entre les trottoirs, la voie des voitures; la largeur de ce caisson étant de $2^{m.}$ 40, les volumes qu'on vient de déterminer y occuperont une hauteur de $0^{m.}$ 16 pour le sable, et de $0^{m.}$ 177 pour les galets. En conséquence, la saillie des trottoirs, au-dessus de la voie des voitures, n'étant que de 13 centimètres, le sable doit les surmonter de 3 centimètres, et les galets d'un peu plus de 4 centimètres $\frac{1}{2}$. Aussi, pour compléter la charge, on a placé sur le bord de chaque trottoir des tringles ayant ces épaisseurs, sur lesquelles on faisait glisser une règle, et on a régalé les matières jusqu'à affleurer le dessus de la règle.

Le 21 septembre, à deux heures après-midi, on a commencé à charger le pont comme il vient d'être dit. L'opération, n'ayant pu être terminée dans la journée, a été reprise le lendemain matin et terminée à une heure après midi; on a laissé la charge sur le pont jusqu'au 24. Ce jour, à deux heures après-midi, on a commencé à l'enlever; le déchargement a été terminé à trois heures et demie. Pendant cette période de temps on a fait les observations suivantes:

1°. La charge du pont devant augmenter la tension des câbles de suspension, les allonger et produire un abaissement dans le plancher du pont, lequel abaissement, d'après le rapport existant entre la corde et la flèche des courbes que forment ces câbles, devait être, au milieu du pont, égal à environ trois fois l'allongement: l'observation de cet abaissement devait donc éclairer suffisamment sur l'effet produit par la tension des câbles; cette observation a été faite comme il suit: On a fixé au milieu du pont une planche verticalement; on a placé sur la culée de droite un niveau à bulle d'air et à lunette, et on a pris toutes les précautions nécessaires, pour que toutes les parties de ce niveau se trouvassent constamment placées de la même manière, chaque fois qu'on voulait s'en servir; avant de commencer la charge du pont, on a donné un coup de niveau, et on a fait marquer sur la planche par un trait au crayon la hauteur à laquelle elle était rencontrée par le rayon visuel de la lunette; et quand on a voulu observer les mouvemens du plancher, on a donné des coups de niveau pour faire marquer des traits semblables; les différences entre ces divers traits indiquent les variations qu'avait éprouvées la hauteur du plancher du pont. Les résultats de cette observation sont consignées dans le tableau ci-dessous, dans la troisième

colonne duquel on a indiqué les abaissemens du plancher au-dessous de sa position primitive.

NUMÉROS DES COUPS DE NIVEAU.	ÉPOQUES AUXQUELLES ONT ÉTÉ DONNÉS LES COUPS DE NIVEAU.	ABAISSE-MENS.	OBSERVATIONS DIVERSES:
		mèt.	
1.	Le 21 à deux heures après midi, avant de charger le pont.	0,000	
2.	Le 21 à quatre heures et demie, la charge étant à peu près au tiers. .	0,042	
3.	Le 22 à 7 heures du matin, la charge étant à peu près aux deux tiers. .	0,085	
4.	Le 22 à une heure après midi, la charge étant complète.	0,185	La température était élevée, et devait avoir dilaté les fils de fer.
5.	Le 23 à sept heures du matin. . . .	0,169	La température était sensiblement refroidie.
6.	Le 23 à trois heures après-midi. . .	0,216	La température s'était relevée.
7.	Le 24 à six heures et demie du matin.	0,193	Il avait plu abondamment toute la nuit, ce qui avait augmenté la charge du pont; d'ailleurs la température s'était refroidie.
8.	Le 24 à deux heures, au moment d'opérer le déchargement.	0,195	
9.	Le 24 à trois heures et demie, le pont venant d'être déchargé. . . .	0,057	
10.	Le 25 à sept heures du matin. . . .	0,033	Il avait plu abondamment toute la nuit, et il pleuvait encore.

Ainsi la charge complète d'épreuve n'a produit immédiatement qu'un abaissement de 0m. 185; pendant le séjour de la charge sur le pont, les variations qu'a éprouvées cet abaissement sont dues principalement à celles de la température, et le maximum de son augmentation n'a été que de 3 centimètres. Lorsque la charge a été enlevée, le tablier s'est élevé peu à peu, et est revenu à 33 millimètres seulement en contre-bas de sa position primitive, quoique chargé encore par une assez grande quantité d'eau de pluie. Cet abaissement ne peut être attribué qu'à l'arrangement définitif que les fils de fer ont pris entre eux en se serrant par l'effet de la tension, et l'on peut affirmer que leur élasticité n'a pas été altérée. D'ailleurs, l'examen le plus attentif qui en a été fait à plusieurs reprises pendant l'épreuve n'y a fait reconnaître aucune rupture dans les brins.

2°. Les câbles verticaux sont composés chacun de quarante brins; et comme ils sont distans entre eux d'un mètre, on conclut que la charge

d'épreuve qui se répartit sur les câbles des deux têtes fait supporter à chaque brin un poids de 10 $\frac{1}{2}$ kilogrammes : ajoutant à cela le poids propre du pont, on trouve que chaque brin supporte en tout un poids d'environ 25 kilogrammes. Or, les fils de fer de la grosseur de ceux qui composent les câbles sont capables de supporter jusqu'à 180 kilogrammes, sans éprouver aucune altération. On ne pourrait donc mettre en doute que lesdits câbles n'eussent une force bien suffisante; et, en effet, plusieurs d'entre eux, qui avaient conservé diverses inflexions dans leur longueur, ne se sont pas mieux redressés sous la charge d'épreuve; et aucune rupture de brin ne s'y est manifestée.

3°. Les boucles et les boulons servant à réunir les diverses parties des câbles entre elles et avec les anneaux de retenue, et les anneaux, ont été fréquemment observés pendant l'épreuve, et aucune altération ne s'y est fait remarquer; il en a été de même des boulons par lesquels les poutrelles sont suspendues aux câbles verticaux. Les anneaux de retenue auraient pu faire un mouvement en avant, soit par l'effet de l'allongement des fers dont ils sont composés, soit par celui de la compression des maçonneries sur lesquelles ils sont appuyés : l'observation des mortiers qu'ils auraient entraînés dans ce cas, et celle des divers repères qu'on avait ménagés, n'ont annoncé aucun mouvement appréciable.

Nota. Quelques-uns des coussinets en fonte à gorge, des extrémités des câbles au milieu du pont, se sont un peu ouverts à l'arrière. Ces coussinets n'ayant à remplir aucune fonction pour supporter le pont, cet accident est tout-à-fait indifférent; il est dû à ce que les deux bords des câbles qui embrassaient chacun de ces coussinets se sont serrés par l'effet de la tension, et ont pincé les branches des coussinets à l'avant : aussi la rupture n'a eu lieu que dans les coussinets dont les branches étaient les plus longues. (*Note de M. Dor.*)

4°. Pendant l'épreuve, on a observé très-fréquemment les piliers, culées et retenues; aucune lézarde n'a été remarquée, aucun mortier ne s'est détaché des crépissages extérieurs qui recouvrent toutes les maçonneries : il n'y a donc eu aucune tendance au mouvement. De plus, on avait fixé sur chaque rive, contre un des piliers, une règle horizontale; un petit niveau à bulle d'air a été maintenu sur chacune de ces règles pendant l'épreuve, et les bulles n'y ont fait que des mouvemens insignifians.

5°. Les bois ont paru aussi sains après l'épreuve qu'auparavant. Il a donc été constaté que ni les fers, ni les bois, ni les maçonneries, n'ont éprouvé d'altérations préjudiciables à la solidité.

(Suivent les conclusions ordinaires terminées ainsi qu'il suit :)

Le présent procès verbal dressé à Argentat par le soussigné, ingénieur

en chef du département de la Corrèze, et clos le 27 septembre 1829, à onze heures du matin, en présence de M. le comte Alexis de Noailles, concessionnaire, de M. Vicat, ingénieur en chef du corps royal des ponts et chaussées, qui a dirigé la construction du pont, et de M. Huibratte, ingénieur de l'arrondissement, lesquels ont coopéré et assisté aux reconnaissances et observations qui y sont relatées, reconnaissant l'exactitude des faits qui y sont consignés, et en adoptant les conclusions.

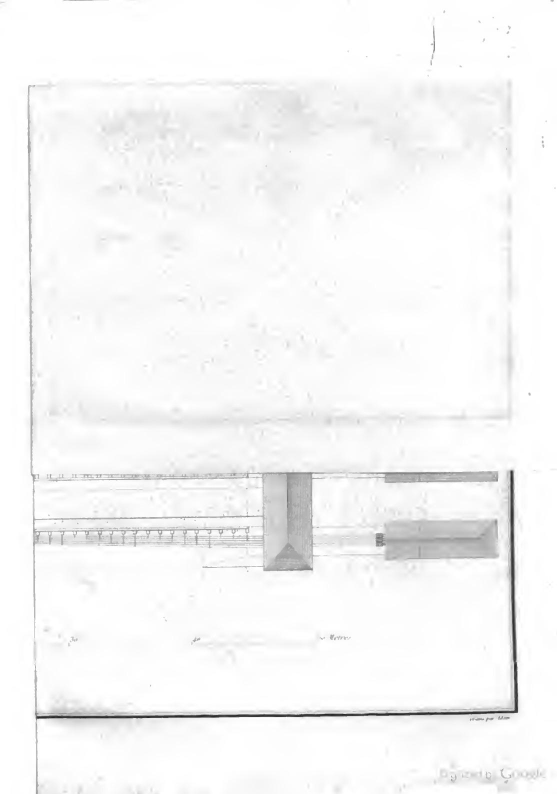
Signé le comte ALEXIS DE NOAILLES.

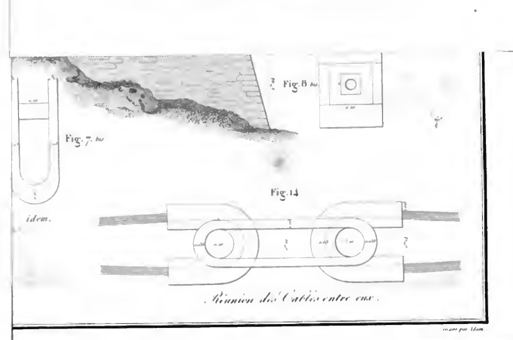
Signé VICAT, HUIBRATTE.

L'ingénieur en chef du département de la Corrèze,

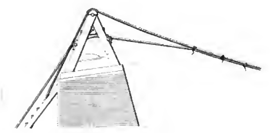
Signé DOR.

PARIS. — IMPRIMERIE ET FONDERIE DE FAIN, RUE RACINE, N°. 4, PLACE DE L'ODÉON




Fig. 8.
Fig. 7.
idem.
Fig. 14
Réunion des Câbles entre eux.

our le tirage des Cables.



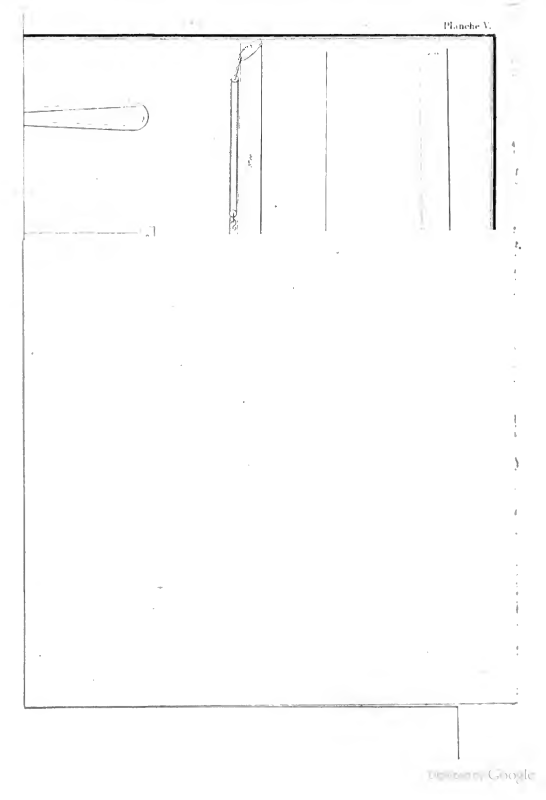
pareil pour obtenir l'égale tension des fils

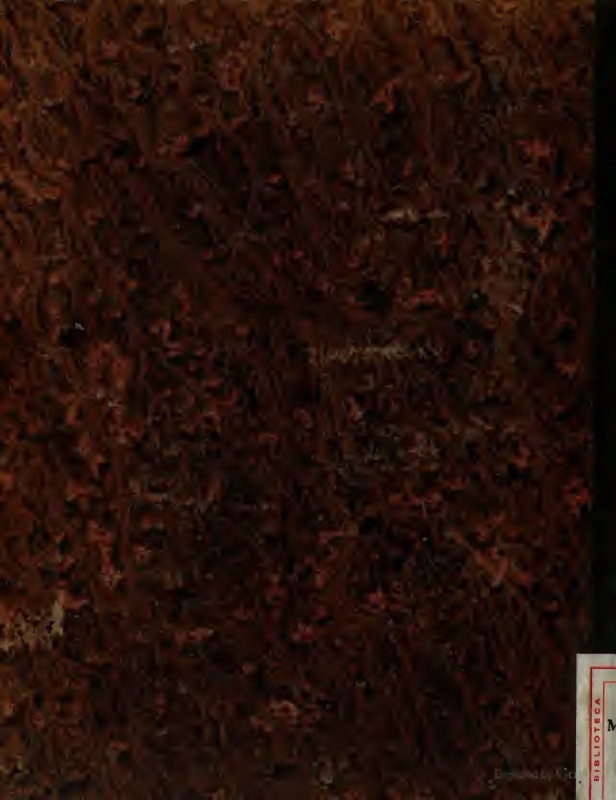
dans la formation des faisceaux

Fig. 15 bis.

Vu de côté.

M




BIBLIOTECA